TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE,

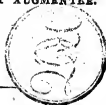
PAR M. L'ABBÉ HAÜY,

Chanoine Honoraire de l'Eglise Métropolitaine de Paris, Membre de la Légion d'Honneur, de l'Institut des Sciences et Arts; Professeur de Minéralogie au Muséum d'Histoire Naturelle; de l'Académie Royale des Sciences et de la Société des Scrutateurs de la Nature, de Berlin; de l'Université Impériale de Wilna; de la Société de Minéralogie d'Iena; de la Société Italienne des Sciences; de la Société Batave des Sciences de Harlem, etc.

SECONDE ÉDITION,

REVUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

TOME I.



A PARIS,

Chez COURCIER, Imprim.-Libr. pour les Mathématiques, quai des Augustins, n° 57.

1806.

INTRODUCTION.

Les différens points de vue sous lesquels les corps naturels et les phénomènes qu'ils présentent peuvent être envisagés, ont donné naissance à divers genres d'étude, qui se sont multipliés à mesure que le progrès des lumières ajoutait de nouvelles branches à des sciences déjà formées. L'ensemble de toutes les connaissances qui en résultent a fourni les trois grandes divisions auxquelles on a donné les noms de *Physique*, de *Chimie* et d'*Histoire Naturelle*.

Si nous considérons dans les corps des propriétés générales et permanentes, ou si les changemens que subissent ces corps sont passagers, ensorte que la cause qui les a produits n'ait besoin que de disparaître, pour que les corps retournent à leur premier état; si, de plus, les lois qui déterminent les actions réciproques des mêmes corps se propagent à des distances plus ou moins considérables, les résultats de nos observations restent dans le domaine de la Physique. Mais lorsque les phénomènes dépendent d'une action intime que les molécules des corps exercent les unes sur les autres, à des distances presque infiniment petites, et en vertu de laquelle

ces molécules se séparent, pour se réunir ensuite dans un ordre différent, et amener de nouvelles combinaisons ou de nouvelles propriétés, l'étude des phénomènes appartient à la Chimie. Enfin, si notre attention se tourne vers les êtres particuliers dont les uns jouissent de la vie et du mouvement spontané, les autres vivent sans se mouvoir par eux-mêmes, et d'autres n'ont qu'une structure sans organisation; et si notre but est de classer et de décrire ces êtres, le point de vue qui s'offre à nous embrasse toute l'Histoire Naturelle, qui comprend seule trois sciences distinguées sous les noms de *Zoologie*, *Botanique*, et *Minéralogie*.

Dans la réalité, toutes les sciences qui se rapportent à la nature ne composent qu'une seule et même science, que nous avons soudivisée, de manière que les différens esprits pussent partager entre eux l'étude de ses diverses branches, et parcourir chacun toute l'étendue de celle qui a fixé son choix. On ne doit donc pas être étonné s'il arrive souvent que plusieurs sciences se rencontrent auprès d'une même vérité, ensorte qu'il n'y en ait aucune qui ne tienne aux autres par des points de contact plus ou moins nombreux. Et pour tirer un exemple de celle qui est le sujet de ce Traité, les découvertes modernes sur les propriétés des gaz et du calorique ne permettent plus à la Physique de s'isoler de la Chimie, lorsqu'il s'agit des phénomènes dont l'explication

appartient à la théorie de l'air ou de la chaleur; et ici le vrai physicien est celui qui parle le langage du chimiste. Il en est de même de toutes les parties de nos connaissances : tour à tour elles divergent, se rapprochent, et finissent souvent par se confondre, comme pour nous rappeler qu'elles remontent toutes à une même unité, et que la distinction que nous avons mise entre elles provient uniquement des bornes de notre esprit et de celles du temps qui nous est accordé pour les cultiver. Nous exposerons bientôt le plan que nous nous sommes tracé, pour circonscrire la Physique dans les limites indiquées par le but de notre ouvrage.

Les objets qui concernent l'étude de cette science offrent cet avantage, que nous n'avons besoin que de nous rendre attentifs pour les trouver réunis autour de nous; que les phénomènes qu'ils produisent sont d'une observation familière, et que la scène sur laquelle se développent ces phénomènes nous est sans cesse présente. Les expériences auxquelles sont employés les instrumens qui meublent nos cabinets de physique, ne sont autre chose que des imitations de ces phénomènes, destinées à nous en dévoiler les causes. Le jeu de la machine pneumatique nous instruit sur les propriétés du fluide que nous respirons. Les effets si piquans pour la curiosité qu'offre l'appareil électrique, nous aident à déterminer les lois qui régissent le fluide accumulé

dans un nuage orageux. L'aimant, qui semble commander aux mouvemens d'une aiguille de boussole que l'on présente à son action, ne fait que remplacer, pour un instant, le globe terrestre, qui exerce continuellement sur l'aiguille une action du même genre. L'image colorée du soleil, offerte par la lumière qui a traversé un prisme, nous donne une idée de la décomposition que subit le même fluide dans le nuage, qui, au moment où il se résout en pluie, déploie le magnifique spectacle de l'arc-en-ciel. Tous ces instrumens si diversifiés sont autant d'interprètes du langage visible que nous parle sans cesse la nature.

Ce mot de *Nature*, que nous employons si souvent, ne peut être regardé que comme une manière abrégée d'exprimer, tantôt les résultats des lois auxquelles l'Être suprême a soumis le mécanisme de l'univers, tantôt la collection des êtres qui sont sortis de ses mains. La nature, envisagée ainsi sous son véritable aspect, n'est plus un sujet de spéculations froides et stériles pour la morale. L'étude de ses productions ou de ses phénomènes ne se borne plus à éclairer l'esprit; elle remue le cœur, en y faisant naître des sentimens de respect et d'admiration à la vue de tant de merveilles qui portent des caractères si visibles d'une puissance et d'une sagesse infinies. Telle était la disposition où se trouvait le grand Newton, lorsqu'après avoir considéré les rapports qui lient

partout les effets à leurs causes, et font concourir tous les détails à l'harmonie de l'ensemble, il s'élevait jusqu'à l'idée d'un Créateur et d'un premier Moteur de la matière, en se demandant à lui-même, pourquoi la nature ne fait rien en vain; d'où vient que le soleil et les corps planétaires gravitent les uns vers les autres sans aucune matière dense intermédiaire; comment il serait possible que l'œil eût été construit sans la science de l'optique, et l'organe de l'ouïe sans l'intelligence des sons (1)?

La véritable méthode pour parvenir à l'explication des phénomènes, est celle qui a été adoptée par le même Newton, et à laquelle les sciences sont redevables des progrès rapides qu'elles ont faits et qu'elles font encore tous les jours entre les mains de tant de savans célèbres. Pour mieux faire concevoir en quoi consiste cette méthode, il ne sera pas inutile de fixer ici, d'une manière nette et précise, l'idée que l'on doit se former de ce qu'on appelle une *Théorie*, d'en faire sentir le but et les avantages, de tracer les limites qui la séparent du système, et qui doivent empêcher de confondre les productions du génie, qui voit la nature telle qu'elle est, avec celles de l'imagination, qui la fait agir à son gré.

Le but d'une théorie est de lier à un fait général, ou au moindre nombre de faits généraux

---

(1) *Optice Lucis*, lib. III, quæst. 28.

possible, tous les faits particuliers qui en dépendent. Nos premiers pas dans les sciences ont été dirigés vers la recherche des faits. On s'est attaché à les décrire exactement, à les bien vérifier, à les multiplier. Les uns étaient donnés par la simple observation, et s'offraient comme d'eux-mêmes à une attention éclairée; d'autres étaient des résultats d'expériences faites avec ces soins, cette adresse et cette sagacité qu'exige ce genre de recherches. Tous ces faits, découverts à différentes époques, et par différens observateurs, restaient d'abord comme isolés; quelques-uns même se présentaient sous l'air du paradoxe, et semblaient être en contradiction avec d'autres faits du même genre. Ainsi l'ascension de l'eau dans les corps de pompe, bornée à une hauteur de trente-deux pieds, mettait en défaut la Physique obscure et inintelligible du temps, qui attribuait cette ascension à une prétendue horreur de la nature pour le vide. Mais enfin paraissait le génie auquel avait été réservé l'avantage de rassembler tous ces anneaux épars, et d'en former une chaîne continue qui en montrât la filiation et la dépendance mutuelle.

Ainsi la théorie de la gravitation universelle ramène les mouvemens célestes, l'aplatissement de la terre et les plus grands phénomènes de la nature, à ce seul fait constaté d'avance par l'observation, que la force de la pesanteur agit en raison inverse du carré de la distance. A l'aide

d'une semblable loi, démontrée par l'expérience, relativement aux actions électriques et magnétiques, on voit les différens effets que présentent les corps sollicités par ces actions, naître, pour ainsi dire, les uns des autres, en partant d'une origine commune.

Les mots d'*attraction* et de *répulsion*, dont on se sert pour indiquer le fait fondamental sur lequel repose la théorie, n'expriment proprement que les vitesses avec lesquelles les corps tendent à s'approcher ou à s'éloigner les uns des autres. L'essentiel est que, connaissant la loi à laquelle est soumise cette tendance, et y appliquant le calcul, on puisse déterminer tous les autres faits, qui sont comme des corollaires du premier; et même la théorie a cet avantage, que l'on peut, par son secours, lire avec certitude dans l'avenir, parceque la filiation des faits une fois établie, ce qui a été devient un sûr garant de ce qui sera; ensorte qu'il dépend du calcul, en faisant un pas de plus, d'appeler un phénomène qui ne se serait présenté qu'après une suite d'années, et de lui donner une existence anticipée.

Ainsi, l'observation et la théorie concourent également à la certitude et au développement de nos connaissances; chacune a son flambeau à la main : l'observation dirige les rayons qui émanent du sien sur chaque fait en particulier, de manière quil soit mis dans tout son jour, qu'il soit nettement terminé, et qu'il se présente sous

sa véritable forme ; la théorie éclaire l'ensemble des faits ; et, à la lumière de son flambeau, tous ces faits, d'abord épars, et qui semblaient n'avoir rien de commun entre eux, se rapprochent ; ils prennent tous un air de famille, et semblent n'être plus que les différentes faces d'un fait unique.

Il est facile à présent de juger combien il y a loin du système à la théorie. Mais commençons par observer que le mot de *système* peut être pris dans une acception favorable, lorsqu'on l'emploie pour désigner une disposition d'objets relatifs aux sciences. Les géomètres s'en servent pour exprimer un ensemble de corps dont les actions mutuelles se combinent. Dans le langage de la saine Physique, il désigne l'arrangement des corps célestes autour d'un centre commun. Les naturalistes ont aussi leurs systèmes, qui consistent dans une distribution méthodique des êtres, propre à en faciliter l'étude.

Le système, tel que nous l'envisageons ici, pour le bannir de la Physique, consiste dans une supposition purement gratuite, à laquelle on s'efforce de ramener la marche de la nature. C'est un tourbillon, c'est une effluve de matière subtile, c'est tout ce qu'on veut (car tout est possible à l'imagination). A l'aide de cette supposition, qui va toujours au-delà des faits donnés par l'observation, on explique tout d'une manière vague et lâche, satisfaisante cependant, en ce qu'il n'en

coûte pas plus pour la concevoir que pour l'imaginer. Le système marche ainsi comme au hasard; toujours errant dans les à peu près, incapable de déterminer aucun fait avec cette précision, cette rigueur qui fait le caractère de la théorie; en un mot, le système est le roman de la nature, et la théorie en est l'histoire, et une histoire qui, sans jamais cesser d'être fidèle à la vérité, embrasse à la fois le passé, le présent et l'avenir.

Donnons maintenant une idée de l'ordre que nous avons suivi dans la distribution des matières qui sont l'objet de ce Traité, en nous bornant à l'énoncé de ce qu'elles offrent de plus remarquable.

Nous commencerons par l'exposé des propriétés les plus générales des corps, ou de celles qui tiennent de plus près à la nature de ces êtres, considérés comme de simples assemblages de particules matérielles. Telle est, par exemple, la mobilité, à l'occasion de laquelle nous donnerons la notion de la vitesse et celle de l'inertie. Telle est encore la divisibilité, ou la faculté qu'ont les corps de pouvoir être divisés en parties toujours plus petites.

L'universalité des phénomènes qui dépendent de la force à laquelle on a donné le nom d'*attraction*, assigne à ce sujet le premier rang après les propriétés dont nous venons de parler. Nous traiterons d'abord de l'attraction dans les grandes distances, ou de la pesanteur, et nous développe-

rons les lois auxquelles est soumise la chute des corps. En parlant de la pesanteur spécifique, nous exposerons la méthode qui a été suivie dans la détermination de l'unité de poids relative au nouveau système métrique, et nous joindrons à cet exposé un tableau abrégé du système pris dans son ensemble.

A l'égard de l'attraction dans les petites distances, ou de l'affinité, nous ne l'envisagerons que sous les rapports par lesquels elle tient de plus près à la Physique.

Après avoir cité divers effets dans lesquels son existence se manifeste, nous exposerons la manière dont s'établit son équilibre entre les principes qui forment les combinaisons neutres, et en admettant l'hypothèse très-vraisemblable que la loi qu'elle suit, à raison de la distance, est la même pour tous les corps, nous prouverons que quand deux sels neutres que l'on mêle ensemble font échange de leurs bases, les nouveaux sels qui en résultent doivent se trouver encore dans l'état neutre, conformément à l'observation. Nous comparerons ensuite l'affinité avec la pesanteur, et nous ferons connaître une idée du célèbre Laplace, d'après laquelle on pourrait les ramener toutes les deux à un même principe. Nous terminerons cet article par un abrégé de la théorie relative à l'un des résultats les plus remarquables de l'affinité, savoir, l'arrangement symétrique des molécules d'une multitude de corps

naturels, sous des formes semblables à celles des polyèdres de la géométrie.

De là nous passerons à la considération d'une autre force, savoir, celle du calorique, qui balance plus ou moins l'effet de l'affinité, et quelquefois finit par le détruire. Nous donnerons d'abord une idée des différentes modifications du calorique, soit qu'abandonné à lui-même, il agisse par le rayonnement, soit que s'engageant dans les corps, il passe en partie à l'état de calorique sensible, et en partie à celui de calorique latent. Nous expliquerons la manière dont son équilibre s'établit et se maintient, relativement à différens corps placés dans un même lieu, et comment la capacité de calorique et la faculté conductrice influent sur le passage à l'état d'équilibre. Nous ferons ensuite l'application de la théorie à divers phénomènes, parmi lesquels on distinguera surtout ceux qui se manifestent dans les belles expériences de MM. de Rumford et Leslie. Nous reviendrons ensuite sur le calorique spécifique dont nous avions déjà donné la notion, et nous indiquerons la manière de le comparer dans les différens corps, d'après les résultats donnés par le calorimètre.

Les effets du calorique pour produire dans les corps un changement d'état, seront l'objet d'un article auquel nous donnerons le développement convenable. Nous ferons voir, en prenant l'eau pour terme de comparaison, comment les varia-

que le thermomètre à mercure remplit ces conditions.

La théorie de l'évaporation est devenue une branche de celle du calorique, d'après les nouvelles vues suggérées par une étude plus approfondie de ce phénomène. Nous ferons connaître d'abord un résultat constant qu'offre la formation de la vapeur de l'eau, et qui consiste en ce que la quantité de cette vapeur est toujours la même, dans un espace donné, et par une température déterminée, soit que cette vapeur occupe seule l'espace dont il s'agit, soit qu'elle s'y trouve à l'état de mélange avec l'air ou avec tout autre gaz. Nous développerons la loi que suit, sous une pression donnée, la dilatation du gaz uni à la vapeur, à mesure que celle-ci se forme. En suivant la marche des phénomènes, nous arriverons par degrés au nœud de la difficulté, dont la solution a pour objet de déterminer l'influence réciproque de l'air et de la vapeur, lorsque ces deux fluides sont mêlés ensemble. Après avoir exposé les théories de Leroi, de Dalton et de Deluc, relativement à ce sujet délicat, nous développerons la manière heureuse dont le célèbre Laplace l'a conçu, en ramenant tout à l'action du calorique, qui détermine les molécules de l'air et celles de la vapeur à se repousser mutuellement, et l'on jugera que cette vue satisfait pleinement à l'observation des phénomènes.

De toutes ces différentes connaissances qui

appartiennent proprement à la Physique générale, nous passerons à celles qu'embrasse la Physique particulière, et qui ont rapport à certains liquides ou à certains fluides remarquables par l'influence qu'ils exercent dans une multitude de phénomènes naturels.

Le premier est l'eau, que nous considérerons d'abord dans son état le plus ordinaire, qui est celui de liquidité, ce qui nous conduira à donner les principes de l'hygrométrie, et à expliquer, d'après la belle théorie du célèbre Laplace, les phénomènes des tubes capillaires, et les attractions ou répulsions apparentes des petits corps qui flottent sur l'eau à une petite distance les uns des autres. Nous nous occuperons ensuite de l'eau à l'état de glace, et, à cette occasion, nous ferons l'histoire de la congélation du mercure, et nous exposerons les résultats à l'aide desquels on a déterminé le véritable degré de froid auquel elle correspond. Enfin, nous traiterons de l'eau à l'état de vapeur, et nous ferons connaître le parti avantageux que l'industrie humaine a tiré de la grande force élastique que l'eau exerce dans cet état, pour l'appliquer, comme force motrice, aux mouvemens des machines à vapeur.

Les propriétés de l'air fixeront ensuite notre attention; nous considérerons la pesanteur de ce fluide, son ressort, les effets de sa pression pour faire monter et descendre le mercure dans le tube du baromètre, pour élever l'eau dans les corps

corps de pompe, et pour déterminer le jeu du syphon. La loi selon laquelle décroissent les densités de l'air, à mesure que les couches de ce fluide s'éloignent de la surface de la terre, nous fournira la théorie de la méthode de mesurer les hauteurs à l'aide du baromètre. De là nous viendrons aux différentes modifications dont l'air est susceptible, et qui produisent les vents et les météores aqueux. Mais les bornes des connaissances actuelles sur les causes de ces modifications de l'air, ne nous permettront souvent que de les décrire, sans nous exposer à en donner des explications vagues et incertaines. Nous reprendrons ici quelques détails relatifs à l'atmosphère envisagée comme siége des vapeurs. Nous ferons voir que si elle n'existait pas, la quantité de vapeurs, toutes choses égales d'ailleurs, serait beaucoup moindre, dans un espace pris depuis la surface de la terre jusqu'à une hauteur donnée, et nous compléterons ce qui regarde ce sujet, en déduisant de l'évaporation l'origine des fontaines. Après avoir parcouru les résultats les plus généraux des propriétés de l'air, nous donnerons l'histoire de la découverte qui a procuré à l'homme l'art jusqu'alors inconnu de s'élever dans ce fluide, et d'y voyager par le secours des ballons aérostatiques.

L'air sera enfin considéré comme véhicule du son, et comme recevant, de la part des corps sonores, un mouvement de vibration qui donne

naissance aux sons comparés. Nous établirons la série des rapports d'après lesquels est formée notre échelle musicale, et nous ferons connaître l'expérience des sons harmoniques, attribuée à Sauveur. Nous comparerons la gamme du cor de chasse avec celle qui est en usage et qui a sa source dans l'accord parfait, et nous indiquerons les raisons qui paraissent décider de la préférence en faveur de cette dernière; puis nous entrerons dans quelques détails sur le tempérament. La manière dont le son se forme dans les instrumens à vent, nous servira à expliquer comment il se propage au milieu d'un air libre, et comment différens sons traversent ce fluide, sans se troubler mutuellement, et apportent à l'oreille des impressions simultanées et en même temps distinctes.

Arrivés à l'exposition des phénomènes électriques, nous donnerons au développement de cette branche de Physique une étendue proportionnée à son importance. Nous traiterons d'abord de l'électricité produite, soit par frottement, soit par communication; et après avoir établi la distinction qui existe entre les différens corps, relativement aux deux modes d'électrisation, nous proposerons l'hypothèse de deux fluides dont les actions se combinent dans la production des phénomènes, comme étant celle qui fournit la manière la plus heureuse et la plus simple de concevoir ces phénomènes. Nous donnerons ensuite la description des expériences qui démontrent que les

actions électriques suivent la raison inverse du carré de la distance; et nous déduirons de cette loi les conséquences qui en résultent par rapport à la tendance qu'a le fluide électrique pour se répandre tout entier sur la surface des corps conducteurs, et à la manière dont il se distribue entre différens corps en contact. Nous ferons l'application des principes précédens aux attractions et répulsions électriques, au pouvoir des pointes pour soutirer ou lancer puissamment le fluide électrique, à la commotion qui accompagne l'expérience de Leyde, et aux effets de plusieurs instrumens particuliers, entre autres de l'électrophore et du condensateur. Nous placerons à la fin de cet article l'exposé des observations qui ont servi à constater l'identité du fluide électrique et de la matière de la foudre, la théorie des paratonnerres, avec des réflexions sur les avantages de ces instrumens, et la théorie de cet effet singulier que l'on a nommé *choc en retour*, et qui consiste en ce qu'un homme est quelquefois foudroyé loin de l'endroit où l'explosion s'est faite.

Un autre mode d'électrisation, qui a lieu par l'intermède de la chaleur, relativement à diverses espèces de minéraux cristallisés, nous fournira plusieurs détails sur les actions électriques de ces corps, et sur la corrélation que l'on a observée entre leurs formes et les positions des pôles dans lesquels résident les deux Electricités opposées.

Ici s'offrira la nouvelle branche de Physique, connue sous le nom d'*Electricité galvanique*, et dont le véritable principe se déduit du phénomène découvert par Volta, d'une électricité excitée par le simple contact de deux métaux différens. Nous exposerons d'abord les expériences faites par Galvani, sur les animaux à sang froid, et les conséquences que l'on en avait tirées; puis nous développerons la théorie à laquelle le célèbre physicien de Pavie a été conduit par ce principe également simple et fécond, que deux métaux isolés, mis en contact, se constituent dans deux états différens d'électricité. Nous ferons l'application de ce principe à la formation de la pile de Volta, et aux différens effets qu'elle produit, soit lorsqu'elle est isolée, soit lorsqu'elle communique avec le réservoir commun. Nous suivrons ces mêmes effets dans les piles secondaires inventées par Ritter; puis nous exposerons, d'après les découvertes du célèbre Erman, les phénomènes très-remarquables qu'offrent certaines substances, telles que la flamme de l'alkohol et le savon alkalin, qui ont, par rapport à l'électricité galvanique, une faculté conductrice particulière. De là nous passerons aux observations faites sur les poissons électriques, tels que la torpille, dont les propriétés connues depuis long-temps paraissent dériver d'une structure analogue à la disposition des élémens de la pile. Nous ferons voir ensuite comment l'électricité

galvanique, liée d'une part avec l'économie animale, a été amenée dans le domaine de la chimie par le phénomène de la décomposition de l'eau; et nous finirons en réunissant dans une même vue l'ensemble de tous les rapprochemens qui tendent à ne nous montrer, dans l'électricité galvanique, qu'une modification de l'électricité ordinaire.

La ressemblance qui existe entre les lois auxquelles sont soumises les actions des aimans et celles des corps idio-électriques, place naturellement la théorie du magnétisme à côté de celle de l'électricité. Nous adopterons de même, relativement à l'explication des phénomènes magnétiques, l'existence et les actions simultanées de deux fluides différens. Mais ici la nécessité de faire intervenir, à chaque instant, dans le développement de la théorie, la considération de l'action magnétique qu'exerce le globe, exigera qu'avant tout nous donnions une idée de cette action, et de certains faits générauxqui en dépendent. Nous ferons connaître ensuite la méthode qui a servi à prouver que la loi qui préside aux phénomènes du magnétisme, suit la raison inverse du carré de la distance, comme celle d'où dépendent les phénomènes électriques. De là nous viendrons à l'explication des effets que produisent les aimans que nous avons à notre disposition, tels que les attractions et répulsions; et nous éclaircirons les espèces de paradoxes que

présentent plusieurs de ces effets, en particulier celui qui résulte de ce qu'une portion détachée d'un aimant devient tout à coup elle-même un aimant pourvu de ses deux pôles. Suivront les applications des principes de la théorie aux différentes méthodes d'aimanter, surtout à celle du double contact, dont nous analyserons les effets, en même temps que nous indiquerons la manière la plus avantageuse de l'employer.

Dans l'article suivant, nous reprendrons avec plus de détail ce que l'observation et la théorie nous ont appris, relativement à la déclinaison et à l'inclinaison de l'aiguille aimantée, aux variations que l'une et l'autre subissent, à mesure que l'on change de lieu, ou par succession de temps, dans un même lieu, et à celles qui ont été observées dans l'intensité des forces qui sollicitent cette aiguille. Nous ferons connaître les recherches qui ont conduit M. Biot à représenter exactement par le calcul, la marche progressive de l'inclinaison, tandis que l'on change de latitude, d'après l'hypothèse que les centres d'action magnétique du globe terrestre soient à des distances presque infiniment petites du centre de la sphéricité; et après avoir expliqué plusieurs résultats d'observations relatives, les unes à la force directrice des aiguilles, les autres à l'égalité des forces qui la tirent en sens contraire, nous développerons les phénomènes singuliers que produit le magnétisme du globe en agissant sur les instrumens de

fer non aimanté qui sont entre nos mains ou autour de nous; puis nous ajouterons quelques détails sur l'état de magnétisme habituel où se trouvent, en vertu de cette même action, les différentes mines de fer répandues dans le sein de la terre. Tout ce qui regarde ce sujet sera terminé par un résumé des différentes hypothèses que les physiciens ont imaginées sur la cause de cette force magnétique qui réside dans le globe terrestre.

Nous avons réservé pour la fin de l'Ouvrage la plus délicate de toutes les théories, savoir, celle qui concerne la Lumière. Nous discuterons d'abord les deux opinions, dont l'une fait consister ce fluide dans une émanation des corps lumineux, et l'autre le suppose répandu dans toute la sphère de l'univers, et animé d'un mouvement de vibration que lui communiquent les mêmes corps; nous donnerons les raisons qui assurent la préférence à la première opinion. Nous ferons connaître comment on est parvenu à mesurer la vitesse de la lumière, et nous placerons, à la suite de ces premières notions, la description de l'aurore boréale, considérée comme un simple phénomène de lumière, dont la cause n'a pas encore été bien déterminée. Nous exposerons ensuite les lois de la réflexion et de la réfraction de la lumière, et les changemens qui en résultent dans les directions respectives des rayons réfléchis par des surfaces courbes, ou réfractés dans des milieux

terminés par des surfaces du même genre. Nous donnerons les positions des foyers soit réels, soit imaginaires, qui ont lieu dans les cas dont il s'agit. Un examen plus approfondi du même sujet nous donnera lieu de considérer les relations que la réflexion et la réfraction ont entre elles, et de ramener l'explication physique de l'une et l'autre à une action du genre de celles qui s'exercent à des distances infiniment petites. Cette action dépend d'une force que Newton appelle *puissance réfractive;* nous donnerons, d'après lui, la manière de l'évaluer, et nous ferons connaître les résultats à l'aide desquels il avait lu, en quelque sorte, dans les lois de la réfraction, combinées avec la densité des corps, que le diamant était combustible, et que l'eau renfermait un principe inflammable. A cet exposé se trouve nécessairement lié celui d'un très-beau travail dont le célèbre Biot a conçu l'idée, en sondant la profondeur des inductions qui avaient conduit Newton aux résultats précédens; on verra comment les lois de la lumière peuvent être employées pour pénétrer beaucoup plus loin dans l'essence des corps, et soumettre au calcul leur composition chimique. Nous compléterons cette théorie des forces que les corps exercent sur le fluide lumineux, en l'appliquant au phénomène connu sous le nom d'*inflexion* ou de *diffraction*.

Viendront ensuite les découvertes de Newton sur la nature de la lumière, considérée comme

un mélange d'une infinité de rayons différemment réfrangibles, et offrant, dans leurs couleurs, une gradation imperceptible de nuances qui se rapportent à sept espèces principales. Ce résultat des expériences faites avec le prisme, amènera l'explication donnée par le célèbre géomètre anglais, de la manière dont se forme l'arc-en-ciel, le développement du phénomène des anneaux colorés, et les conséquences que le même savant en a déduites par rapport aux couleurs naturelles des divers corps, et à la différence entre ceux qui sont transparens et ceux qui sont opaques. Ce sera encore en employant une construction ingénieuse imaginée par Newton, que nous ferons voir à quoi tiennent les couleurs que l'on a nommées *accidentelles*, et comment, dans certaines circonstances, la sensation d'une couleur mélangée se change en celle de la couleur que produiraient seuls certains rayons, pris parmi ceux qui composent le mélange.

De là nous passerons aux phénomènes qui concernent la vision, et après avoir décrit la structure de l'œil, nous considérerons d'abord cet organe dans les circonstances où, guidé par le tact, il acquiert un exercice qui devient comme le fondement des règles d'après lesquelles nous jugeons de la forme, de la grandeur et de la distance des objets. Nous expliquerons ensuite comment le défaut de quelqu'une des

conditions que supposent les mêmes règles entraîne l'œil dans ces erreurs que l'on a nommées *illusions d'optique*, et parmi lesquelles deux des plus remarquables sont, celle qui nous fait juger la lune beaucoup plus grande à l'horizon qu'au méridien, et celle qui naît de ce dérangement apparent des étoiles, connu sous le nom d'*aberration*.

Aux effets de la vision naturelle succéderont ceux de la vision aidée par l'art. Les lois de la réflexion nous feront concevoir comment se produisent les images des objets, telles que nous les offrent les miroirs, soit ceux qui, ayant une surface plane, rendent fidèlement ces images; soit ceux qui, étant concaves ou convexes, en font varier les formes, les grandeurs et les distances. Nous envisagerons ensuite les effets de la lumière réfractée, par rapport à la vision; et supposant d'abord un milieu réfringent, à surface plane, et un point radieux placé dans son intérieur, nous traiterons la question relative à la détermination du point de concours imaginaire des rayons qui, après être partis du point radieux, se dispersent, par l'effet de la réfraction, en passant dans un milieu différent. Après avoir appliqué la même théorie à la vision des objets situés dans l'eau, nous exposerons un phénomène très-remarquable, qui dépend de la propriété qu'ont certaines substances de doubler les images des objets vus à travers deux de leurs

faces prises de deux côtés opposés, et nous essayerons de répandre quelque jour sur la théorie de ce phénomène, en le considérant dans la chaux carbonatée, celle de toutes les substances dont il s'agit qui se prête le mieux à l'observation des diverses circonstances qui le modifient.

Nous développerons ensuite les effets des verres simples qui, au moyen de leur courbure, aident notre vue, ou remédient à ses imperfections. La théorie de ces effets nous conduira à expliquer ceux des instrumens qui résultent de la combinaison de plusieurs verres, tels que les télescopes et les microscopes, et à faire connaître les ressources que l'art a tirées de la réfraction, soit en l'employant seule, soit en la combinant avec la réflexion, pour grossir les objets, les rapprocher, et nous en montrer qui existaient à notre insçu. Nous nous attacherons surtout à présenter avec clarté le principe sur lequel est fondée la construction des *lunettes achromatiques*, longtemps retardée par l'obstacle que lui opposait l'autorité de Newton, annoncée pour la première fois comme possible par Euler, et entreprise avec tant de succès par Dollond. Enfin, pour ne rien omettre de ce qu'il y a d'intéressant dans un sujet si varié, nous donnerons une description succincte des instrumens qui produisent leurs effets sur un plan, qui se présente, comme un fond,

au pinceau de la lumière. Tels sont la chambre obscure, le microscope solaire, la lanterne magique ordinaire, et celle dont le jeu caché pour les spectateurs produit les illusions de la fantasmagorie.

Nous n'avons pas dû faire entrer dans notre plan les connaissances relatives à l'astronomie physique, à la mécanique et à la chimie, ces connaissances étant l'objet de plusieurs ouvrages qui ont été demandés à des hommes d'un mérite distingué, et qui sont maintenant entre les mains du public. Si nous nous sommes quelquefois permis des détails analogues à quelques-unes d'entre elles, c'est parcequ'ils étaient tellement liés aux matières qui sont du ressort de la Physique, proprement dite, que nous ne pouvions les supprimer, sans déroger à l'obligation où nous étions de donner à notre sujet toute l'étendue dont il était susceptible.

Notre but, en composant cet ouvrage, a été d'offrir un Traité de Physique raisonné. Nous n'avons cité qu'un petit nombre d'expériences, choisies parmi les plus décisives, et nous avons donné aux conséquences qui s'en déduisent tout le développement convenable. Une explication devient vague, lorsqu'elle est réduite à ce qu'elle a de plus général. Les détails sont, pour ainsi dire, la pierre de touche des théories ; ils en garantissent la justesse, ou en décèlent la fausseté. Ils nous mettent à portée de suivre pas à pas

la marche de la nature ; ils nous font appercevoir tous les rapports qui établissent la dépendance mutuelle des faits, soit entre eux, soit avec le fait qui sert de base à la théorie. Ils amènent ces idées fines qui donnent, en quelque sorte, la dernière touche au tableau d'un phénomène. Les développemens ont de plus cet avantage, qu'ils remplissent des vides susceptibles d'être sentis par ceux qui veulent approfondir, et vont au devant des questions qui laisseraient des nuages dans l'esprit.

En adoptant cette manière de traiter un sujet qui a des ramifications si nombreuses et souvent si délicates, et qui devait s'étendre à des connaissances modernes et encore peu répandues, nous avons senti la nécessité de consulter; et la reconnaissance nous fait un devoir de publier ici tout ce que doit cet ouvrage aux lumières que nous avons puisées dans les fréquens entretiens que le célèbre Laplace a bien voulu nous permettre d'avoir avec lui. On sait qu'au milieu de ses sublimes recherches sur l'astronomie physique, il a trouvé le secret d'acquérir, dans les différentes branches de connaissances, une supériorité à laquelle parviennent rarement ceux qui n'en ont cultivé qu'une seule. C'est à cette supériorité, et en même temps à l'avantage qu'il a de posséder au plus haut degré l'art de manier l'analyse mathématique, que l'on est redevable de cette

belle théorie des phénomènes que présentent les tubes capillaires, et dont nous donnons une exposition détaillée dans cette seconde édition. Ce sujet n'avait encore été traité que d'une manière vague ou insuffisante, et les nombreux ouvrages qu'il a produits l'ont laissé neuf à M. de Laplace qui l'a épuisé.

En nous efforçant d'offrir, à l'aide du simple raisonnement, l'esprit des méthodes géométriques qui servent à démontrer les vérités que nous avions à développer, nous nous sommes crus dispensés d'exposer ces méthodes elles-mêmes. Seulement, nous avons placé dans des notes divers résultats qui n'exigent, pour être saisis, que des connaissances ordinaires de calcul, et dont plusieurs même ne se trouvent point ailleurs; nous sentons d'avance avec quel plaisir on lira, parmi ces derniers, ceux qu'a obtenus, relativement à l'électricité, notre célèbre collègue M. Biot. La communication qu'il nous a donnée des résultats plus récens de ses importantes recherches sur les lois du magnétisme et sur la réfraction de la lumière, nous a fourni une nouvelle occasion de faire connaître combien la Physique lui a d'obligations, et devient pour nous un nouveau motif de lui témoigner combien nous sommes reconnaissans de l'intérêt qu'il a pris à notre travail.

Ce Traité avait été désigné par Sa Majesté l'Empereur et Roi, au nombre de ceux qui

devaient servir à l'instruction publique. Aucun motif n'était plus propre à exciter notre zèle et nos efforts, qu'un témoignage de confiance aussi honorable de la part d'un héros, qui n'a besoin que d'appeler les autres hommes à l'exécution de ses desseins, pour les élever au-dessus d'eux-mêmes. Dès-lors nous n'avons plus connu d'autre soin que celui de concourir à ses vues bienfaisantes, pour procurer aux jeunes français l'avantage inestimable d'une instruction capable de former leur jugement, de meubler leur esprit de connaissances solides, et d'assurer le succès des fonctions qui leur seront assignées dans la suite. Mais les bornes étroites du temps que nous laissait l'ouverture prochaine d'une partie des écoles publiques, et la nature même d'un ouvrage relatif à une science dont nous ne nous étions occupés que comme en passant, nous donnaient un juste sujet de craindre qu'il ne laissât beaucoup à desirer. Nous n'avons rien négligé pour qu'il reparût, dans cette nouvelle édition, sous une forme qui le rendît moins indigne de sa destination. Plusieurs parties ont été presque entièrement refondues; nous avons fait diverses additions, dont les unes remplissent des vides que nous avions laissés dans certaines théories, et les autres ont été amenées par les progrès de la Physique et par les découvertes qui l'ont enrichie. Mais le grand nombre des vérités qu'embrasse cette science, et la

complication des phénomènes dont ces vérités se déduisent, ne nous permettent pas de nous flatter de les avoir toujours assez approfondies pour les bien saisir, et de les avoir présentées sous le jour le plus favorable pour en faciliter l'accès. Les maîtres éclairés qui auront entre les mains le résultat de notre travail, plus faits que personne pour sentir les difficultés qu'il nous a offertes, le jugeront d'une part avec moins de sévérité, et suppléeront de l'autre à ce qui pourrait y manquer, et malgré tout ce que nous avons fait pour le perfectionner, nous continuerons de le placer entre leur indulgence et leur sagacité.

TRAITÉ

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE.

1. La Physique a pour objet la connaissance des phénomènes de la nature. Dans la production de ces phénomènes, les corps manifestent diverses propriétés dont l'étude doit exciter particulièrement notre attention ; et c'est en recherchant les lois établies par l'Être suprême pour régler l'exercice de ces mêmes propriétés, que nous nous élevons jusqu'aux théories qui servent à lier les faits entre eux, et à nous en montrer la dépendance mutuelle.

I. DES PROPRIÉTÉS LES PLUS GÉNÉRALES DES CORPS.

2. Parmi les différentes propriétés dont jouissent les corps, les premières qui s'offrent à notre observation sont celles qui tiennent de plus près à la nature même de ces êtres, considérés comme de simples assemblages de particules matérielles. On peut les réduire aux quatre suivantes : l'étendue, la mobilité, l'impénétrabilité, la divisibilité.

1. De l'Étendue.

3. Les philosophes se sont épuisés en longues discussions, pour rechercher quelle est la véritable notion de l'étendue, et si elle constitue l'essence de la matière. Nous ne connaissons pas assez la nature des corps, pour décider ces sortes de questions, et les véritables physiciens ne s'en occupent plus aujourd'hui. Contens de ce que le rapport de leurs sens leur apprend au sujet de l'étendue, ils conçoivent qu'il y a étendue, partout où il y a contiguité et distinction de parties; et ce qui les intéresse, c'est de pouvoir mesurer l'étendue, au lieu de s'amuser à la définir; c'est d'en comparer les différentes parties, et de tirer de cette comparaison des résultats vraiment utiles aux progrès de nos connaissances.

4. La manière dont l'étendue d'un corps est bornée en tout sens, détermine la figure de ce corps; et l'on peut dire que les figures des corps varient à l'infini, à ne considérer la chose qu'en général, et en réunissant toutes les nuances que peut offrir le tableau de la nature. Mais ces nuances ne font que modifier plus ou moins légérement les ressemblances frappantes qui existent d'ailleurs entre les êtres de chaque espèce, soit parmi les animaux et les végétaux, soit même parmi un grand nombre de corps inorganiques renfermés dans le sein de la terre; et pour fixer ici principalement notre attention sur ces derniers dont la considération, sous un certain point de vue, est du ressort de la Physique, on remarque qu'un grand nombre de ces corps présentent des figures régulières et déterminées, ensorte que leur seul aspect annonce l'action d'une cause soumise à des lois qui ont leur mesure et leurs limites. Ces corps, que l'on a nommés *cristaux*, sont terminés par des faces planes, et ont beaucoup d'analogie avec les solides que considèrent les géomètres; et ainsi dans les minéraux, le caractère de la perfection est attaché à la ligne droite; les formes arrondies sont dues à des espèces de perturbations qu'ont éprouvées les forces qui sollicitaient les molécules à se réunir, tandis que dans les

animaux et dans les végétaux, les contours et les arrondissemens tiennent à l'organisation elle-même, et contribuent à la grâce et à l'élégance des formes.

5. Les physiciens ont conclu de ces observations que les corps cristallisés sont eux-mêmes composés de particules d'une figure déterminée, et plusieurs d'entre eux ont eu recours au microscope, pour essayer de surprendre à la nature le secret des formes élémentaires, en se servant de cet instrument, comme pour assister à la naissance des cristaux. Mais le microscope ne nous apprend ici rien au-delà de ce que nous disent nos yeux abandonnés à eux-mêmes; les plus petits corps qu'il puisse nous faire appercévoir sont des cristaux déjà tout formés, qui ne diffèrent que par leurs dimensions de ceux dont l'accroissement est parvenu à son terme. Nous exposerons plus bas le moyen qui paraît seul susceptible de nous guider relativement aux recherches de ce genre, et de nous offrir, dans ce qui est soumis à nos observations, des indices sinon certains, du moins vraisemblables, des formes qu'affectent ces infiniment petits de la nature, qui échapperont toujours à nos regards.

6. L'étendue d'un corps, considérée relativement à la grandeur de ses dimensions, donne le volume de ce corps. C'est l'équivalent de ce que les géomètres appellent *solidité*.

De la Porosité.

7. Lorsque nous avons fait entrer dans la notion de l'étendue la contiguité des parties dont les corps sont les assemblages, nous ne prétendions pas nous exprimer d'une manière rigoureuse. On sait que l'intérieur des corps est criblé d'une infinité de vacuoles, auxquels on a donné le nom de *pores*; et il est même très-vraisemblable qu'il y a dans les corps beaucoup plus de vide que de plein. La somme totale des parties matérielles d'un corps, est ce qu'on appelle la *masse* de ce corps; et la somme des parties matérielles renfermées sous un

volume donné, tel qu'un mètre cube ou un centimètre cube, est ce qu'on appelle la *densité* du corps : d'où il résulte que la densité est le rapport de la masse au volume, ou, ce qui revient au même, elle est égale à la masse, divisée par le volume. Par exemple, un morceau de bois peut avoir plus de masse qu'un morceau d'or, si son volume l'emporte assez pour cela, sur celui de l'or. Mais le bois a nécessairement moins de densité que l'or, parcequ'il renferme, sous un volume donné, beaucoup moins de parties matérielles.

8. La faculté qu'ont tous les corps de se contracter en se refroidissant, ainsi que nous l'expliquerons dans la suite, fait voir que leurs molécules laissaient entre elles de petits interstices qui leur ont permis de se rapprocher : mais quand même on supposerait le refroidissement porté à l'extrême, il ne s'ensuit pas que les molécules dussent franchir entièrement les petits espaces qui les séparent, parcequ'il peut y avoir dans leur forme, dans leur arrangement et autres circonstances, une cause d'écartement qui tienne à la nature intime des corps. On voit par là que cette expression de *contact immédiat* que nous employons souvent, en parlant des molécules des corps, ne doit pas être prise à la lettre ; elle désigne seulement la plus petite distance respective à laquelle les molécules puissent parvenir, eu égard aux circonstances où elles se trouvent.

Les physiciens prouvent la porosité des corps à l'aide de plusieurs expériences fort connues. On fait le vide, au moyen de la machine pneumatique, dans un tube de verre, terminé à sa partie supérieure par un godet de bois, dont le fond a 7 ou 8 millimètres d'épaisseur, et dans lequel on a versé de l'eau. Ce liquide passe à travers les pores du fond, et tombe par gouttes dans l'intérieur du tube. On substitue à celui-ci un autre tube garni en haut d'un flacon de cristal, auquel un morceau de cuir de buffle sert de fond, et qui est rempli de mercure jusqu'à la hauteur de deux doigts. Dès les premiers coups de piston, on apperçoit dans le tube le mercure qui tombe sous la forme d'une pluie argentée.

9. On peut démontrer la même propriété au moyen d'une

expérience simple et intéressante, faite sur une pierre dont Newton a parlé au sujet de cette même propriété, parcequ'elle donne lieu à un phénomène particulier de lumière (1).

Cette pierre est du genre de celles que l'on nomme *agathes*, qui sont demi-transparentes ; et assez dures pour étinceler par le choc du briquet. On lui a donné le nom particulier *d'hydrophane*. Lorsqu'on l'a plongée dans l'eau, on voit s'élever de sa surface des files nombreuses de petites bulles d'air, qui se succèdent sans interruption. Cet air qui occupait les pores de la pierre, en est délogé par l'eau qui le remplace ; en même temps la pierre acquiert un nouveau degré de transparence ; et si on la pèse d'abord avant l'expérience, et de nouveau après l'expérience, on trouve que son poids est augmenté d'une quantité sensible. Nous expliquerons la cause physique de la transparence acquise par l'hydrophane, lorsque nous parlerons des phénomènes de la lumière : nous ne le considérons ici que comme offrant un exemple remarquable de la porosité des corps ; et même l'expérience que nous venons de citer, nous apprend ce que ne disent pas les expériences ordinaires ; savoir : qu'on ne doit pas considérer les pores comme étant absolument vides de toute matière étrangère, mais plutôt comme étant occupés par l'air, ou par quelqu'autre fluide subtil, disséminé entre les molécules des corps.

Un hydrophane, du poids d'environ 18 décigrammes, dans son état ordinaire, après avoir été soumis à cette expérience, pesait à peu près 21 décigrammes, d'où il suit que son poids était augmenté de $\frac{1}{6}$. La pierre perd par le desséchement l'eau dont elle s'était imbibée, et reprend en même temps son opacité naturelle.

10. La peau de l'homme et des animaux est criblée d'une infinité de pores par lesquels s'échappent, au moyen de la transpiration, les parties des alimens qui ne contribuent point à la nutrition. Indépendamment de la transpiration sensible, que l'on nomme *sueur*, et qui est accidentelle, il s'en fait une

(1) Optice lucis, pars tertia, propos. tertia.

insensible, qui agit plus ou moins à tous les instans, et que l'on n'aurait pas imaginée être aussi abondante, avant les expériences de Sanctorius. Ce savant célèbre a eu la constance de passer une partie de sa vie dans une balance, où il se pesait lui-même, pour déterminer les pertes occasionnées par les effets de la transpiration. Il a trouvé que cette espèce d'évacuation nous fesait perdre, dans l'espace de vingt-quatre heures, environ les $\frac{5}{8}$ de la nourriture que nous avions prise.

11. Dodard, en reprenant depuis ces mêmes expériences, a eu égard à la différence de l'âge, et s'est assuré que l'on transpirait beaucoup plus dans la jeunesse. Mais les physiciens qui s'étaient occupés de cet objet, n'avaient pas distingué l'effet de la transpiration qui se fait par le poumon, et dont la matière s'échappe au moyen de l'expiration, de l'effet qui est dû à la transpiration cutanée, ou à celle qui a lieu par l'intermède de la peau. Seguin a entrepris, conjointement avec Lavoisier, de déterminer les deux effets; et après avoir cherché, à l'ordinaire, le résultat de la transpiration totale, il a supprimé celle qui se fait par la peau, en appliquant sur cet organe une enveloppe imperméable à l'humeur qu'il transmet au dehors; il a obtenu ainsi la quantité de la transpiration pulmonaire, et la moyenne entre les résultats de ses expériences donne $\frac{7}{11}$ pour le rapport entre cette quantité et celle de la transpiration cutanée, c'est-à-dire, que l'effet qui provient de la transpiration pulmonaire, est plus que le tiers de l'effet total.

12. Nous n'avons aucun moyen d'estimer la densité absolue des corps. Il faudrait pour cela qu'il existât une matière parfaitement dense, qui pût servir de terme de comparaison, pour déterminer, à l'égard de chaque corps, le rapport entre la quantité de matière propre et la somme des pores. Au défaut d'une pareille matière, nous ne pouvons que comparer entre elles les différentes densités des corps; ce qui se fait à l'aide du poids, ainsi que nous le dirons bientôt.

2. De la Mobilité.

13. La mobilité est la faculté qu'a un corps de pouvoir être transporté d'un lieu dans un autre. Cet état que l'on appelle *mouvement*, suppose l'action d'une cause à laquelle on a donné le nom de *force* ou de *puissance*. Pour que cette cause existe, il n'est pas nécessaire que le corps qu'elle sollicite ait un mouvement réel. Ainsi, lorsque deux corps se font équilibre aux deux extrémités du levier d'une balance, ils sont maintenus dans cet état par des forces réellement existantes, mais dont les effets se détruisent mutuellement, ou se bornent à produire dans les corps une tendance à se mouvoir.

14. Le mouvement est uniforme, lorsque le mobile parcourt toujours le même espace dans le même temps; il est accéléré ou retardé, lorsque le mobile parcourt dans des temps égaux des espaces qui vont successivement en augmentant ou en diminuant.

De la Vitesse.

15. Dans le mouvement uniforme, le temps employé à parcourir chaque espace déterminé peut être plus ou moins long, suivant le plus ou moins d'énergie de la force motrice.

Pour comparer entre eux les mouvemens de deux corps, dans le cas de l'uniformité, on prend un intervalle de temps; par exemple, la seconde, pour unité de temps : on choisit de même une unité d'espace, telle que le mètre. De cette manière, on exprime l'espace total qu'a parcouru chaque corps, et le temps employé à le parcourir, par des nombres abstraits, qui indiquent combien de fois ils renferment l'unité de leur espèce; et en divisant le nombre qui représente l'espace par celui qui représente le temps, on a la vîtesse de chaque corps. Si l'on suppose, par exemple, que l'un des corps ait parcouru trente-cinq mètres en sept secondes, et l'autre vingt-quatre mètres en six secondes, la vîtesse du premier sera

$\frac{35}{7}$, et celle du second $\frac{24}{6}$; c'est-à-dire, que les vîtesses seront entre elles dans le rapport de 5 à 4.

On voit par là dans quel sens doit être prise la notion que l'on donne de la vîtesse, lorsqu'on dit qu'elle est égale à l'espace divisé par le temps. A la rigueur, on ne peut pas diviser l'une par l'autre deux quantités hétérogènes, telles que l'espace et le temps. Ainsi, le langage dont il s'agit n'est qu'une manière abrégée d'exprimer que la vîtesse est égale au nombre d'unités d'espace divisé par le nombre d'unités de temps, qui mesurent le mouvement d'un corps.

16. Comme les forces ne se manifestent à notre égard que par leurs effets, ce n'est que par les effets qu'elles sont capables de produire, que nous pouvons les mesurer. Or l'effet d'une force est d'imprimer à chaque particule d'un corps une certaine vîtesse. On suppose, dans ce cas, que toutes les particules reçoivent la même vîtesse, et l'effet de la force a pour mesure la vîtesse prise autant de fois qu'il y a de particules dans le corps; ou, pour abréger, sa mesure est le produit de la masse par la vîtesse. Ce produit est ce qu'on appelle la *quantité de mouvement d'un corps.*

De l'Inertie.

17. Tous les corps persévèrent d'eux-mêmes dans leur état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite; ensorte qu'un corps en repos ne peut se mouvoir sans y être sollicité par quelque force, et que de même le mouvement rectiligne uniforme d'un corps ne peut être détruit ou changé sans l'action d'une cause étrangère.

Il suit de là que quand un corps se meut d'un mouvement accéléré ou retardé, on doit supposer l'action d'une force qui intervient à chaque instant pour occasionner une variation dans la vîtesse qui, sans cela, serait uniforme.

18. Ce que nous venons de dire n'est qu'une manière différente d'énoncer qu'un corps ne peut se donner de mouvement à lui-même, ni rien s'ôter de celui qu'il avait déjà. On a

appelé *inertie*, ce défaut d'aptitude qu'ont les corps pour apporter d'eux-mêmes un changement dans leur état actuel. Or on sait qu'un corps, dont l'état vient à changer par l'action d'une force étrangère, ne se prête à cet effet qu'en altérant lui-même l'état de cette force, c'est-à-dire en lui enlevant une partie de son mouvement. On en a conclu que la persévérance d'un corps, dans son état de repos ou de mouvement uniforme, était elle-même l'effet d'une force réelle qui résidait dans ce corps; et l'on a envisagé cette force tantôt comme une résistance, en ce qu'elle s'opposait à l'action de l'autre force pour changer l'état de ce corps, tantôt comme un effort, en ce qu'elle tendait à apporter du changement dans l'état de l'autre force.

19. Le célèbre Laplace a proposé une manière plus nette et plus naturelle d'envisager l'inertie. Pour concevoir en quoi elle consiste, supposons un corps en mouvement qui rencontre un corps en repos : il lui communiquera une partie de son mouvement; ensorte que si le premier a, par exemple, une masse double de celle du second, auquel cas sa masse sera les deux tiers de la somme des masses, la vîtesse qu'il conservera sera aussi les deux tiers de celle qu'il avait d'abord; et comme l'autre tiers qu'il a cédé au second corps se trouve répandu sur une masse une fois plus petite, les deux corps auront après le choc la même vîtesse. L'effet de l'inertie se réduit donc à la communication que l'un des deux corps fait à l'autre d'une partie de son mouvement; et parceque ce dernier ne peut recevoir sans que le premier ne perde, on a attribué cette perte à une résistance exercée par le corps qui reçoit. Mais il en est ici à peu près du mouvement comme d'un fluide élastique contenu dans un vase, avec lequel on mettrait en communication un autre vase qui serait vide; ce fluide s'introduirait par sa force expansive dans le second vase, jusqu'à ce qu'il se trouvât distribué uniformément dans les capacités des deux vases : de même un corps qui en choque un autre, ne fait, pour ainsi dire, autre chose que verser dans celui-ci une partie de son mouvement; et il n'y a pas plus de raison pour

supposer ici une résistance, que dans l'exemple que nous venons de citer.

Il est vrai que quand on frappe avec la main un corps en repos, ou dont le mouvement est moins rapide que celui de cette main, on croit éprouver une résistance ; mais cette illusion provient de ce que l'effet est le même à l'égard de la main, que si elle était en repos, et que ce fût le corps qui vînt la frapper avec un mouvement en sens contraire.

Nous nous bornons ici à ces notions générales, par rapport à la mobilité ; et nous n'entrerons point dans les détails relatifs aux différentes espèces de mouvement et aux autres résultats, dont la considération appartient aux sciences physico-mathématiques.

3. De l'Impénétrabilité.

20. Lorsqu'un corps en mouvement rencontre un autre corps qui est en repos, il ne prend la place que ce dernier occupait dans l'espace, qu'en le forçant à la quitter, en vertu de la partie qu'il lui a communiquée de son propre mouvement. Cette observation nous aide à découvrir dans les corps une autre propriété à laquelle on a donné le nom d'*impénétrabilité*, et qui consiste dans la faculté qu'a un corps d'exclure tout autre corps du lieu qu'il occupe ; de manière que deux corps mis en contact, ne peuvent jamais occuper un espace moindre que celui qu'ils remplissaient lorsqu'ils étaient séparés.

21. S'il existait des corps dont on pût être tenté de révoquer en doute l'impénétrabilité, ce seraient ceux qui, étant invisibles, et ayant leurs molécules parfaitement mobiles, sont susceptibles de céder à la plus légère pression. Quoique nous ne soyons pas encore au moment de donner une notion exacte de ces corps que l'on a nommés *fluides*, il en est un, savoir l'air atmosphérique, dont l'existence nous est trop familière, pour qu'il ne nous soit pas permis de le citer ici comme exemple.

Tant que ce fluide n'est pas renfermé, son extrême mobilité

fait qu'il livre un libre passage à tous les corps qui se meuvent au milieu de lui; mais dans ce cas il est proprement remplacé et non pas pénétré : car si on le contient par les parois d'un vase, et qu'alors un autre corps se présente pour prendre sa place, sans lui permettre de sortir, il exerce son impénétrabilité à la manière des corps solides. C'est ce dont on se convaincra aisément à l'aide d'une expérience fort simple, et que chacun peut faire. Elle consiste à plonger un vase verticalement, l'orifice en bas, dans un autre vase rempli d'eau jusqu'à une certaine hauteur. La surface de l'eau, qui répond à l'orifice du premier vase, s'abaisse à mesure que ce vase descend lui-même; et l'on peut rendre cet abaissement plus sensible, au moyen d'une petite lame de liége que l'on fait flotter sur la surface de l'eau. Cependant cette eau n'est pas entièrement exclue par l'air qui occupe le vase plongé; il s'en élève toujours une certaine quantité qui augmente à mesure que le vase descend à une plus grande profondeur. Mais cet effet est dû à une propriété de l'air, que nous ferons connaître plus particulièrement dans la suite, et en vertu de laquelle son volume se resserre dans un plus petit espace, par l'effort que fait la colonne d'eau qui répond à l'ouverture du vase, pour se mettre de niveau avec l'eau environnante.

22. Nous devons prévenir ici une difficulté qui paraît résulter de ce que, quand on a mêlé certains corps, le volume du mélange est moindre que la somme des volumes pris séparément. C'est ce qui arrive, par exemple, lorsqu'on mêle à parties égales de l'*alkohol* avec de l'*eau;* c'est ce qui a lieu encore lorsqu'on allie par la fusion le *cuivre* avec le *zinc*, pour former le métal composé que l'on appelle *cuivre jaune*, ou *laiton*. On observe qu'alors la densité du mélange est augmentée d'environ un dixième. Cette pénétration apparente provient de ce que les molécules des deux corps, en vertu de leurs figures particulières, se rapprochent en général davantage que dans les deux corps pris séparément. Il en résulte dans la figure des pores, un changement qui diminue l'espace égal à la somme de ces pores; au contraire, dans l'alliage de

l'*argent* et du *cuivre*, il se fait une sorte de raréfaction, ensorte que le volume du mélange est un peu plus grand que la somme des volumes des deux corps, avant la fusion.

4. De la Divisibilité.

23. Le mot de *divisibilité* restreint à sa simple signification, ne présente rien qui ne soit parfaitement connu, puisque tous les corps ont des parties que l'on conçoit aisément comme étant séparables les unes des autres. Mais la matière est-elle réellement divisible à l'infini, ensorte que sa division n'admette aucunes bornes possibles? ou bien est-elle composée, en dernier résultat, de molécules indivisibles, et que l'on doive regarder comme simples? Nouvelle source de discussions interminables entre les partisans des deux opinions, où l'esprit humain a exercé toute sa subtilité pour trouver des argumens en faveur de chacune, et des difficultés contre l'autre : après avoir beaucoup disputé, beaucoup écrit, le tout au sujet d'un atome, on n'en a pas été plus avancé, et la solution de la question elle-même n'aurait pas fait faire à la science un pas de plus. On a banni de la Physique toutes ces questions stériles pour le progrès de nos connaissances. Au lieu de chercher si les corps pouvaient être divisés à l'infini, on les a analysés autant qu'ils pouvaient l'être, et on a tiré de ces analyses, des connaissances qui ont répandu la lumière sur des faits regardés auparavant comme inexplicables. On a vu sagement que les bornes de l'expérience et de l'observation sont pour nous celles de la nature elle-même.

24. Ce qu'il y a de certain par rapport à la division des corps, c'est qu'il en résulte des parties séparées les unes des autres, dont la finesse étonne notre imagination. Nous pouvons d'abord citer en preuve les matières colorantes, et en particulier le carmin, qui est une espèce de poudre que l'on retire de l'insecte nommé communément *cochenille*. On délaye une petite quantité de cette poudre, du poids de 5 centigrammes (un peu moins d'un grain), au fond d'un vase, dans lequel on verse ensuite 15 kilogrammes ou environ 30 livres d'eau.

La couleur s'étend de manière qu'elle devient sensible dans tout le volume de l'eau. Le poids de cette eau étant trois cent mille fois plus grand que celui des cinq centigrammes de carmin, si l'on suppose que chaque centigramme contienne seulement deux molécules de principe colorant, on aura trois millions de parties visibles dans cinq centigrammes de carmin.

25. Les impressions qui se font sur l'odorat, ne sont pas moins propres que celles qui affectent la vue, à nous faire juger de l'extrême division à laquelle se prête la matière. Il est des corps dont le poids est à peine sensiblement altéré après un long intervalle de temps, pendant lequel tous ceux qui se trouvent à une certaine distance ne cessent de ressentir l'action des particules odoriférantes émanées de la substance de ces corps.

On retire d'une poche renfermée dans le corps de certains animaux, une substance à laquelle on a donné le nom de *musc*, et dont un seul grain répand une forte odeur, pendant un certain nombre d'années, dans un appartement où l'air est souvent renouvelé. Le simple frottement d'un papier qui a servi à envelopper un morceau de la même substance, suffit pour rendre un habit odorant pendant plusieurs jours.

26. Les procédés des arts peuvent nous donner une idée d'autant plus juste de la même propriété, qu'ici les résultats sont susceptibles d'être soumis au calcul. Suivant l'observation de Boyle, le poids d'un grain d'or, ou d'environ 53 milligrammes, réduit en feuilles, peut couvrir une surface de 50 pouces carrés, dont chacun aura parconséquent à peu près 27 millimètres de côté : or on peut concevoir le millimètre divisé en 8 parties visibles, ce qui donne 46656 petits carrés visibles dans une feuille d'or carrée de 27 millimètres de côté; et comme le nombre de ces feuilles est de 50, on en conclura qu'une petite masse d'or du poids de 53 milligrammes, peut être divisée en plus de deux millions de parties sensibles, j'entends à la vue simple; car au moyen du microscope, chaque partie redeviendrait une feuille d'or, où l'œil et le calcul trouveraient encore de quoi s'exercer.

La division va beaucoup plus loin dans le travail du tireur

d'or. On prend une certaine quantité de feuilles de ce métal, dont le poids peut ne pas excéder celui de 3 décagrammes ou d'environ une once, et l'on en couvre un cylindre d'argent. On fait passer ensuite ce cylindre par différentes filières, et lorsqu'on l'a réduit en un fil aussi délié qu'un cheveu, recouvert dans tous ses points d'une couche d'or extrêmement mince, on l'aplatit entre deux rouleaux d'acier. Dans cet état, il forme une lame, dont la longueur est à peu près égale à 444 mille mètres, qui répondent à 111 lieues de 2000 toises chacune. Mais cette lame étant revêtue d'une couche d'or sur chacune de ses faces, on peut considérer les deux couches comme deux lames d'or d'une extrême ténuité, et les mettre par la pensée à la suite l'une de l'autre. De plus, la largeur de la lame étant d'environ $\frac{1}{4}$ de millimètre ou $\frac{1}{9}$ de ligne, on peut supposer cette largeur divisée en deux, et ainsi la quantité d'or employée équivaut à quatre lames dont chacune serait longue de 444 mille mètres. Maintenant si l'on conçoit que chacun des millimètres renfermés dans cette longueur soit divisé en huit, on aura plus de 14 billions de parties visibles dans une petite masse d'or du poids de 3 décagrammes, et qui équivaut à un cube d'or dont le côté n'aurait pas 12 millimètres ou 5 lignes $\frac{1}{3}$ de longueur.

Cette prodigieuse extension dont l'or est susceptible, dépend de sa ductilité jointe à sa grande densité ; deux qualités également précieuses pour les arts dont le but est d'appliquer ce métal sur la surface du bois, du cuivre et autres matières auxquelles il sert à la fois d'abri et d'ornement.

27. Ajoutons un exemple tiré de la substance pierreuse qui porte le nom de *mica*, et qui se prête avec une grande facilité à l'opération que nous avons appelée *division mécanique*. Nous sommes parvenus à détacher de la substance dont il s'agit une lame qui, au lieu de la couleur jaunâtre naturelle à la pierre, réfléchissait le beau bleu, ce qui était l'indice d'un extrême degré de ténuité, comme nous l'expliquerons en parlant de la lumière. Ayant calculé l'épaisseur de cette lame d'après une règle indiquée par Newton, et que nous ferons

également connaître, nous l'avons trouvée égale à 43 millioniènies de millimètre, ou environ 1,6 millionième de pouce, ce qui suppose que l'on peut obtenir 23255 lames isolées, en divisant un morceau de mica de l'épaisseur d'un millimètre ou $\frac{4}{9}$ de ligne.

28. Nous ne pouvons mieux terminer cet article, qu'en exposant une vue très-sage de Newton, sur les bornes prescrites à la division des corps, dans l'état actuel des choses. Ce grand philosophe pense que l'Être suprême, en créant la matière, l'a composée de diverses espèces de molécules élémentaires, solides, dures, invariables, dont les dimensions, les figures et les différentes qualités étaient assorties aux fins qu'il se proposait (1). Or, telle est la fixité de ces molécules, qu'aucuns procédés de l'art, et même aucune des forces existantes dans la nature, ne peuvent ni les diviser, ni les altérer, sans quoi l'essence des corps changerait avec le temps. Ainsi toutes les modifications que subissent les corps, dépendent uniquement de ce que ces molécules durables se séparent les unes des autres, et se réunissent ensuite de diverses manières pour former de nouvelles combinaisons. Ces différentes molécules sont ainsi les véritables substances simples de la chimie; et les résultats des opérations qui les présenteraient isolées, seraient le terme des efforts de cette science qui, en attendant, considère comme simples les substances qu'elle n'est pas encore parvenue à décomposer, et place sagement la simplicité à l'endroit où s'arrête l'observation.

II. DE L'ATTRACTION.

29. Dans les actions soumises aux lois de la mécanique ordinaire, les mouvemens qui sollicitent les corps à se porter les uns vers les autres, sont dûs à des agens extérieurs bien connus,

(1) Optice lucis, lib. III, quæst. 31.

qui poussent ces corps ou les tirent, de manière à diminuer leur distance respective; mais l'observation de ce qui se passe dans la nature nous offre une multitude de phénomènes, dans lesquels il suffit que deux corps soient en présence, pour qu'étant abandonnés à eux-mêmes ils s'approchent l'un de l'autre, sans qu'il existe entre eux ou autour d'eux aucune cause sensible de ce mouvement.

Plusieurs physiciens ont pensé que, dans ces circonstances, les corps étaient mus par des agens invisibles, qui se refusaient à tous les moyens de constater directement leur existence, et Newton lui-même n'a osé assurer que l'impulsion fût étrangère à cette classe de phénomènes (1). Mais ce grand géomètre et ceux qui ont suivi sa doctrine, ont senti que le point essentiel n'était pas de rechercher ici la nature de la cause motrice, mais d'étudier sa manière d'agir, en déduisant de certains phénomènes les lois qui la régissent, et d'employer ensuite ces lois comme principes pour expliquer ou même prévoir tous les autres phénomènes qui ont une liaison intime avec les premiers. Et parceque les choses se passent, à notre égard, comme si les corps tendaient d'eux-mêmes à se réunir, on a désigné cette sorte de tendance mutuelle par le mot d'*attraction* qui, réduit à sa vraie signification, n'exprime que le fait et non la cause.

30. Il y a aussi des circonstances où des corps séparés par un intervalle plus ou moins sensible, s'éloignent les uns des autres, sans qu'aucune cause extérieure paraisse les y déterminer, et l'on indique par le mot de *répulsion* l'effort qu'ils exercent pour se fuir mutuellement.

31. La diversité des phénomènes qui dépendent de l'attraction, a fait soudiviser cette force en deux espèces. L'une qui appartient plus particulièrement à la Physique, est *la pesanteur* ou *la gravitation;* l'autre dont la Physique partage l'étude avec la chimie, est l'*affinité* ou l'*attraction moléculaire.*

(1) Optice lucis, lib. III, quæst. 31.

1. De la Pesanteur.

32. On a donné le nom de *pesanteur* ou de *gravité*, à la force en vertu de laquelle un corps abandonné à lui-même se précipite vers la terre.

33. Les anciens philosophes ont imaginé divers systèmes pour remonter jusqu'à la cause de ce phénomène, si simple aux yeux du vulgaire, qui trouve tout naturel qu'un corps tombe dès qu'il n'est plus soutenu. De tous ces systèmes, le plus ingénieux et le plus séduisant a été celui de Descartes, qui fesait dépendre la chute des corps du mouvement de la matière subtile dont le tourbillon circulait autour de la terre. Toutes les parties de ce tourbillon ayant une force centrifuge qui les sollicitait à s'éloigner de la terre, déterminaient les corps à se mouvoir de haut en bas, dans une direction contraire à celle de cette force. Mais en supposant même l'existence des tourbillons, que personne n'admet plus aujourd'hui, l'explication de Descartes avait contre elle plusieurs difficultés insolubles, dont l'une consistait en ce qu'un corps placé dans le plan d'un parallèle à l'équateur, devrait descendre obliquement à la surface de la terre, vers le point de l'axe auquel répondrait le centre du parallèle dont il s'agit, au lieu que la direction de la pesanteur est partout perpendiculaire à la même surface. Ce système de Descartes a disparu devant la théorie de la *gravitation universelle*, dont le nom seul exprime l'effort sublime à l'aide duquel le génie de Newton a fait rentrer les mouvemens célestes et les plus grands phénomènes de la nature dans le domaine de la pesanteur.

De la différence entre la Pesanteur et le Poids.

34. La pesanteur doit être envisagée comme agissant également à chaque instant sur chacune des molécules d'un corps.

Il résulte d'abord de ce principe, que la vîtesse qu'elle imprime à un corps qui tombe, ne dépend pas de la masse de ce corps; elle est, par rapport à l'ensemble de toutes les molécules du corps, la même qu'elle serait pour chaque molécule détachée de la masse. Que cette masse soit plus grande ou plus petite, il s'ensuivra seulement qu'il y a plus ou moins de molécules animées de la même vîtesse; mais la vîtesse commune n'en sera ni augmentée ni diminuée. Cependant nous ne voyons pas tous les corps tomber avec la même vîtesse, et arriver dans des temps égaux à la surface de la terre, en les supposant partis de la même hauteur. Nous allons donner la raison de cette différence, après que nous aurons établi la distinction qui existe entre la pesanteur d'un corps, et ce qu'on appelle proprement le *poids* de ce corps. La pesanteur se mesure, ainsi que nous venons de le dire, par la vîtesse qu'elle imprime à chaque molécule d'un corps, et cette vîtesse est indépendante du nombre des molécules; mais le poids d'un corps se mesure par l'effort qu'il faut faire pour soutenir ce corps et l'empêcher de tomber. Or cet effort est d'autant plus considérable, qu'il y a dans ce corps plus de molécules animées de la même vîtesse: et ainsi le poids à proprement pour expression le produit de la masse par la vîtesse, d'où il suit qu'il varie dans le même rapport que la masse, relativement aux corps que nous pesons, parceque ces corps sont censés être sollicités par des vîtesses égales. Il est facile de concevoir maintenant pourquoi, parmi les corps abandonnés à eux-mêmes, ceux qui ont plus de masse tombent plus vîte de la même hauteur, que ceux dont la masse est moins considérable. Cette différence provient de la résistance de l'air, qui est plus grande à l'égard des corps qui ont moins de masse; car si nous supposons, par exemple, deux balles de même diamètre, l'une de plomb, l'autre de liége, qui commencent à tomber en même temps, ces deux balles présentant des surfaces égales à la résistance de l'air, on aura ainsi deux résistances égales, appliquées à deux corps animés de la même vîtesse initiale; d'où il suit que la résistance de l'air enlevera à la balle de liége, qui a la plus petite quantité de mouve-

ment, une portion plus grande de vîtesse, que celle qui sera perdue dans le même temps par la balle de plomb ; et la première, continuant de perdre à chaque instant plus que la seconde, se trouvera plus en retard.

35. Galilée, à qui était réservée la gloire de préparer de loin la théorie de Newton, par la découverte de la loi à laquelle est soumise l'accélération des graves ; Galilée, dis-je, ayant fait tomber d'une grande hauteur différentes boules d'*or*, de *plomb*, de *cuivre*, de *porphyre*, avec une boule de *cire*, observa que tous ces corps employaient presque le même temps pour arriver à terre. La boule de *cire*, la seule qui fut sensiblement en retard, n'était plus qu'à quatre pouces de terre, à la fin de la chute des autres corps. Galilée, considérant que cette différence était bien éloignée d'être proportionnelle à celle des poids, en conclut qu'elle dépendait uniquement de la résistance de l'air. Cette conjecture a été vérifiée depuis par des expériences directes, qui consistent à faire tomber du haut d'un tube, sous lequel on a fait le vide le plus parfait possible, des corps de différentes masses, tels que du plomb, du fer, du bois, du liége, de la plume, de la laine, etc. ; et l'on a observé que tous ces corps ne laissaient appercevoir aucune différence sensible dans la durée de leur chute. Quant aux corps qui s'élèvent en l'air, tels que la fumée, on sait que leur ascension est due à ce qu'ils se trouvent spécifiquement plus légers que l'air : ils sont, à l'égard de ce fluide, ce qu'est à l'égard de l'eau, un morceau de liége, qui, plongé dans cette eau à une certaine profondeur, et abandonné ensuite à lui-même, remonte à la surface. Le vulgaire regarde comme étant sans pesanteur tout ce qui s'élève, au lieu de tomber : ce qui a fait dire à Newton, que les poids du vulgaire étaient les excès des poids absolus des corps sur le poids de l'air. L'ascension des ballons aérostatiques au milieu de l'air est bien faite pour désabuser les partisans de cette théorie des corps sans pesanteur.

De l'accélération du Mouvement produit par la Pesanteur.

36. Nous avons vu (17) qu'un corps une fois mis en mouvement, tend de lui-même à y persévérer avec la même vîtesse et suivant la même direction qu'il avait au premier instant. Mais si ce corps est mu par une force qui agisse sur lui sans interruption, et dont les actions soient égales pendant des temps égaux, sa vîtesse croîtra continuellement et d'une manière uniforme.

37. De ce genre est le mouvement que produit la pesanteur dans les corps qu'elle sollicite. Pour bien concevoir la loi de l'accélération qui en résulte, supposons qu'un corps emploie un temps fini, tel que trois ou quatre secondes, à tomber d'une certaine hauteur; nous pourrons considérer ce temps comme composé d'une infinité d'instans infiniment petits, et il faudra concevoir que dans le premier instant le mobile reçoit de la pesanteur un degré de vîtesse infiniment petit, et que dans chacun des instans suivans un égal degré de vîtesse s'ajoute à la vîtesse précédente; ensorte que les vîtesses du mobile, pendant les divers instans consécutifs de sa chute, croîtront comme les nombres naturels 1, 2, 3, 4, 5, etc. Il suit de là que le nombre de degrés de vîtesse acquis successivement par le mobile, est toujours égal au nombre d'instans pendant lesquels a duré le mouvement, c'est-à-dire, que la vîtesse croît comme le temps.

Supposons un triangle rectangle *s c b* (*Pl.* I, *fig.* 1.) divisé par des lignes *gh*, *il*, *kn*, etc., parallèles à la base *bc*, de manière que les parties *sh*, *hl*, *ln*, etc., de la hauteur, comprises entre ces lignes, soient égales entre elles : si l'on conçoit que ces parties représentent, par exemple, des secondes de temps, *gh* représentera la vîtesse acquise par le mobile à la fin de la première seconde, *il* la vîtesse acquise après deux secondes, et ainsi de suite; car les lignes *gh*, *il*, *kn* étant entre elles dans

le rapport des lignes *sh*, *sl*, *sn*, etc., il en est des premières relativement aux autres, comme des vîtesses à l'égard des temps.

Si l'on suppose à présent le triangle *s c b* soudivisé par une infinité d'autres lignes comprises entre *s* et *gh*, *gh* et *il*, *il* et *kn*, etc., ces lignes, à partir du point *s*, représenteront les vîtesses pendant les instans successifs infiniment petits qui composent les temps représentés par *sh*, *sl*, *sn*, etc.; et parceque ces vîtesses ne sont autre chose que les petits espaces parcourus pendant les instans correspondans, le triangle *sgh* étant la somme des espaces qui répondent au temps mesuré par *sh*, cette somme représentera l'espace total parcouru pendant la première seconde (1); de même le triangle *sil* représentera l'espace parcouru pendant les deux premières secondes, et ainsi des autres. Or les triangles *sgh*, *sil*, etc., sont entre eux comme les carrés de leurs hauteurs *sh*, *sl*, etc.; d'où nous conclurons que les espaces parcourus par le mobile, depuis l'origine du mouvement, sont comme les carrés des temps employés à les parcourir. Ainsi les temps représentés par *sh*, *sl*, *sn*, etc., étant entre eux dans le rapport des nombres naturels 1, 2, 3, 4, 5, etc., les espaces correspondans seront dans le rapport des carrés 1, 4, 9, 16, 25, etc., de ces nombres.

D'après cela, il est facile d'avoir le rapport que suivent les espaces parcourus pendant différens temps consécutifs égaux entre eux; car si nous désignons le premier de ces espaces par l'unité, il est bien clair que les suivans seront représentés par les différences entre les termes de la suite 1, 4, 9, 16, 25, etc., qui désignent les espaces, depuis l'origine du mouvement. Donc les espaces parcourus pendant des temps égaux et consécutifs, à compter de cette même origine, seront entre eux comme les nombres impairs 1, 3, 5, 7, etc., parmi lesquels tous ceux qui suivent le premier, donnent les différences dont il s'agit.

(1) Rien ne s'oppose à ce que l'on emploie ici la surface d'un triangle, pour représenter un espace en longueur, ou une simple dimension, en mettant, par la pensée, les uns à la suite des autres, tous les élémens dont le triangle est l'assemblage.

On a trouvé, par l'expérience, qu'un corps à qui l'air n'opposait pas de résistance sensible, tombait de 15 pieds $\frac{1}{10}$, qui reviennent à peu près à 49 décimètres, dans la première seconde de son mouvement. Cette connaissance une fois acquise, il est aisé de déterminer la hauteur dont un corps pesant est tombé pendant un nombre donné de secondes, en prenant autant de fois 49 décimètres, qu'il y a d'unités dans le carré de ce nombre de secondes.

38. Imaginons qu'au bout d'un certain temps, par exemple, de celui qui est représenté par *sh*, la pesanteur ou la force accélératrice cesse d'agir : le corps persévérera dans son mouvement en vertu de la vitesse *gh*, devenue uniforme. Donc si l'on suppose qu'il continue de se mouvoir pendant un temps égal au premier, et que nous pouvons désigner par *hl*, l'espace qu'il décrira étant égal à la vitesse *gh*, prise autant de fois qu'il y a d'instans qui répondent à *hl*, cet espace sera comme le produit de *gh* par *hl*, lequel produit est double de la surface du triangle *shg*; d'où il suit que dans le mouvement uniformément accéléré qui résulte de la pesanteur, l'espace parcouru pendant un temps donné est la moitié de celui que le mobile est capable de décrire, avec la vitesse acquise continuée uniformément.

39. La découverte de la loi suivant laquelle la pesanteur agit sur les corps placés dans le voisinage de la terre, et que nous avons dit être due à Galilée, n'était que comme un premier pas fait à l'entrée d'une carrière immense, qu'il était réservé à Newton de parcourir. Le principe de la pesanteur est devenu entre ses mains d'une fécondité qui n'a, pour ainsi dire, d'autres bornes que celles de l'univers lui-même. Ce grand géomètre conjectura que cette force, dont l'intensité ne paraissait pas être sensiblement plus petite sur la cime des plus hautes montagnes qu'à la surface du globe, s'étendait jusqu'à la lune, et que, combinée avec le mouvement de projection de ce satellite, elle lui fesait décrire un orbe elliptique autour de la terre. La pesanteur, à cette distance, devait se trouver diminuée d'une quantité appréciable; et pour déterminer la loi de cette diminution, Newton chercha, d'après le

mouvement connu de la lune dans son orbite, et d'après le rapport entre le rayon de la terre et celui de la même orbite, de quelle hauteur la lune, abandonnée à sa seule pesanteur, descendrait vers la terre, dans un instant déterminé : comparant ensuite cette hauteur avec celle qui mesure, pendant le même temps, la chute des corps près de la surface de la terre, il trouva que la loi de la pesanteur, en supposant que cette force s'étendît jusqu'à la lune, suivait la raison inverse du carré des distances. Enfin il généralisa ce résultat, en considérant le soleil comme le foyer d'une force qui se propage indéfiniment dans l'espace, et qui agit, en raison directe des masses et réciproquement au carré des distances, sur tous les corps de notre système planétaire, en même temps que ces corps exercent les uns sur les autres de semblables actions. Ce court exposé suffit pour faire entrevoir l'immensité du travail entrepris par Newton et par les illustres géomètres qui ont perfectionné sa théorie, pour déterminer les diverses modifications d'une loi si simple en elle-même et si compliquée dans ses résultats, pour démêler l'influence mutuelle des phénomènes, et résoudre le nœud par lequel chacun des détails tient à l'ensemble.

40. L'attraction que les différens corps de la nature exercent entre eux, n'est autre chose que la somme des attractions particulières de toutes les molécules dont ces corps sont les assemblages; d'où il résulte que le principe qui a fourni à Newton comme la clef de sa théorie, si on le considère dans son plus haut degré de généralité, doit être énoncé ainsi : *Toutes les molécules de la matière s'attirent mutuellement en raison directe des masses, et inverse du carré des distances.*

41. Pour donner un nouveau développement à ce principe, que nous aurons occasion d'appliquer à divers phénomènes qui sont du ressort de la Physique, supposons, avec Newton, une enveloppe sphérique pnx (*fig.* 2), dont toutes les particules agissent par des attractions en raison inverse du carré des distances, sur une molécule m située en dehors à une distance quelconque. Newton a prouvé que, dans ce cas, l'attraction totale qui résulte de toutes les attractions particulières, est

la même, par rapport à la molécule attirée, que si toutes les molécules attirantes se trouvaient réunies au centre c de l'enveloppe sphérique qu'elles composent (1). Car si l'on imagine qu'elles aillent toutes se placer dans ce point, les attractions de celles qui étaient plus voisines de la molécule attirée que le centre, diminueront, par une suite de l'augmentation de distance, tandis que les attractions de celles qui étaient plus éloignées de la molécule attirée que le centre, augmenteront, en vertu d'une distance plus petite (2). Or on démontre par la géométrie, qu'il s'établit, dans ce cas, une compensation entre les attractions qui décroissent, et celles qui prennent de l'accroissement, de manière que la somme des forces conserve sa valeur primitive.

Maintenant une sphère pouvant être considérée comme un assemblage d'enveloppes sphériques superposées, à chacune desquelles s'applique le raisonnement que nous venons de faire, il en résulte que la sphère entière, toujours dans l'hypothèse d'une attraction en raison inverse du carré de la distance, agit sur une molécule située extérieurement, comme si toute la matière de cette sphère était réunie au centre. On a appelé *centre d'action*, ce point dans lequel il faudrait supposer que toutes les particules d'un corps se trouvassent rassemblées, pour que leur action totale fût encore la même que quand elles étaient disséminées dans toute l'étendue de ce corps. Le théorème dont nous venons de donner une idée est très-remarquable, en ce qu'il conduit à considérer les sphères comme de simples points pesans.

42. Quelle que soit la figure du corps qui attire la molécule m, il est visible que le centre d'action sera toujours placé dans

(1) Princip. Mathém. t. I, prop. 71, théor. 31.

(2) Si du point m pris comme centre, et de l'intervalle mc pris comme rayon, on décrit un arc de cercle rcs qui coupe la circonférence pnx, et si l'on suppose que cet arc appartienne à une seconde enveloppe sphérique, qui ait pour centre le point m, celle-ci déterminera la limite entre les points a, b, p, z, etc., qui s'écarteront de la molécule m, et les points e, g, h, o, etc., qui s'en rapprocheront.

l'intérieur de ce corps, à une distance finie de la surface; et si l'on substitue à la molécule m un nouveau corps d'une certaine étendue, les deux corps s'attireront en raison directe de leurs masses, et en raison inverse des carrés des distances entre leurs centres d'action.

43. On voit maintenant pourquoi un corps porté à la plus grande hauteur à laquelle nous puissions atteindre, n'est pas sensiblement moins attiré que s'il était placé à la surface de la terre : car l'élévation de ce corps au-dessus de la surface n'étant pas comparable au rayon terrestre, la distance entre les deux centres d'action ne se trouve augmentée que d'une quantité extrêmement petite par rapport à elle-même, et ainsi l'attraction n'a dû éprouver qu'une diminution inappréciable, par le trajet qu'a fait le corps en s'éloignant de la terre.

44. On conçoit aussi pourquoi deux corps d'un volume peu considérable, même en les supposant librement suspendus à une petite distance réciproque, ne prennent aucun mouvement sensible l'un vers l'autre. Car ces corps n'étant que comme des points en comparaison de la terre, l'attraction que celle-ci exerce sur eux devient tellement prépondérante, qu'elle les dérobe à l'effet de leur attraction mutuelle. Si l'on représente les deux attractions par deux côtés d'un parallélogramme, dont l'un coïncide avec la ligne qui joint les centres d'action des deux corps, et l'autre avec celle qui passe par l'un de ces centres et par le centre de la terre, le rapport entre ces côtés sera si grand, que la résultante représentée par la diagonale du parallélogramme ne s'écartera qu'infiniment peu du grand côté situé sur la direction de l'attraction terrestre.

De la Pesanteur spécifique.

45. Supposons une suite de corps de différentes natures, qui aient des volumes égaux. Si l'on pèse successivement tous ces corps à l'aide de la balance ordinaire, il faudra, pour

établir l'équilibre, employer des poids plus ou moins considérables, suivant que ces mêmes corps seront plus ou moins denses. Supposons de plus, qu'ayant choisi pour terme de comparaison l'un de ces corps, par exemple le plus léger, on représente son poids par l'unité, et que l'on exprime les poids de tous les autres corps par des nombres relatifs à cette unité, on aura les rapports entre les poids des différens corps comparés à une mesure commune, ou les *pesanteurs spécifiques* de ces corps.

46. Quand même les volumes des corps dont il s'agit ne seraient pas égaux, il suffirait que l'on pût les évaluer assez exactement pour les comparer entre eux; après quoi il serait facile de ramener les résultats des différentes pesées à ce qu'elles auraient été dans le cas de l'unité de volume. Mais aucune de ces deux hypothèses n'étant admissible dans la pratique, on y a suppléé à l'aide d'un principe d'hydrostatique découvert par Archimède, à l'occasion d'un problème qu'Hiéron, roi de Syracuse, lui avait, dit-on, proposé. Ce prince ayant ordonné à un orfèvre de fabriquer une couronne d'or pur, le soupçonna d'avoir allié à ce métal une certaine quantité d'argent, et desira qu'Archimède pût vérifier le fait sans endommager la couronne, et au cas que l'alliage existât, en déterminer la quantité. Pour donner une notion claire du principe qui a conduit ce savant célèbre à la solution du problème, concevons un corps qui, à volume égal, pèse précisement autant que l'eau. Si l'on tient ce corps suspendu à un fil que nous considérerons ici comme étant sans pesanteur, et qu'on le plonge dans l'eau, il ne faudra plus employer aucune force pour le soutenir, parcequ'il est soutenu tout entier par le liquide, qui exerce sur lui le même effort que quand il tenait en équilibre le volume d'eau dont ce corps a pris la place. Imaginons maintenant que le corps, en conservant son volume, devienne plus pesant; l'eau continuera de faire équilibre à toute la partie du poids de ce corps, qui égale le poids primitif ou celui du volume d'eau déplacé; ensorte que si l'on pèse le corps ainsi plongé, il n'y aura que

l'excédant du poids primitif qui agisse sur la balance. Il suit de là (et c'est en quoi consiste le principe dont nous avons parlé) que si l'on pèse d'abord dans l'air et ensuite dans l'eau un corps respectivement plus pesant que ce liquide, il y perd une partie de son poids égale à celui du volume d'eau déplacé. On détermine, par ce moyen, le rapport entre le poids du corps et celui de l'eau, à volume égal, et ce liquide sert ainsi de mesure commune, pour comparer entre elles les pesanteurs spécifiques des différens corps.

47. La balance destinée pour les recherches de ce genre, se nomme *balance hydrostatique*. Le corps sur lequel on opère est suspendu par un crin, à un petit crochet fixé sous l'un des bassins, ce qui procure la facilité de plonger ce corps dans l'eau pour l'y peser.

48. Pour que les expériences deviennent comparables, il est nécessaire que le liquide soit toujours le même, relativement à sa nature et à sa densité. On prend pour cet effet de l'eau distillée, ou, à son défaut, de l'eau de pluie, qui a sensiblement le même degré de pureté, et l'on emploie cette eau à une température donnée. Brisson, à qui nous devons une table des pesanteurs spécifiques des corps, plus étendue que toutes celles qui avaient paru jusqu'alors, a adopté la température de $14^{d.}$ du thermomètre divisé en 80 parties, qui répond à $17^{d.}$, 5 du thermomètre centigrade, comme moyenne dans notre climat.

Il est plus naturel de représenter par l'unité la pesanteur spécifique de l'eau, qui est le terme de comparaison auquel on rapporte les pesanteurs spécifiques des autres corps, que de la désigner par 1000 ou par 10000, ainsi qu'on le fait ordinairement. Du reste, le calcul est le même, excepté que l'on a communément une fraction décimale dans le résultat.

49. Rendons sensible, par un exemple, la marche qui doit être suivie dans la détermination de la pesanteur spécifique d'un corps. Supposons qu'une masse d'or pèse 6 décagrammes dans l'air, et que son poids, dans l'eau, ne soit plus que de 5688 centigrammes : retranchant ce second poids de 6 déca-

grammes ou 6000 centigrammes qui représentent le premier poids, on trouvera 312 centigrammes pour la perte qne l'or a faite dans l'eau, et en même temps pour le poids d'un égal volume d'eau. On aura donc cette proportion; 312 ou le poids du volume d'eau égal à celui de l'or est à 6000, poids absoln de l'or, comme l'unité, qui représente en général la pesanteur spécifique de l'ean, est à un quatrième terme, qui donnera la pesanteur spécifique de l'or. On voit que l'opération se réduit à diviser le poids absolu par la perte dans l'eau. Le terme inconnu, pris avec quatre décimales, sera 19,2308.

50. Il est facile maintenant de concevoir comment Archimède a pu s'y prendre pour résoudre le problème dont nous avons parlé. Il n'eut besoin que de connaître le poids absolu de la couronne, sa pesanteur spécifique, celle de l'or pur, telle que nous venons de la donner, et celle de l'argent pur, qui est à peu près 10,5. Il trouva d'abord que la pesanteur spécifique de la couronne était moindre que celle de l'or pur, ce qui seul indiquait un alliage d'argent. Ayant combiné ensuite, au moyen du calcul, les diverses données que nous venons de citer, il parvint à déterminer les quantités relatives des deux métaux que renfermait la couronne, sauf la petite différence qui devait résulter de ce que jamais le volume de l'alliage n'est tout-à-fait égal à la somme des volumes qu'avaient les métaux pris séparément.

51. L'or qui avait été regardé, pendant long-temps, comme le plus dense de tous les corps naturels, le cède, sous ce rapport, à un métal nommé *platine*, qui a été découvert en 1741, et dont la pesanteur spécifique, déterminée par le célèbre Borda, est de 20,980. Les connaissances relatives à ce genre d'observations, déjà si précieuses pour le physicien, n'offrent pas moins d'avantages au naturaliste, qui leur doit un des caractères les plus décisifs pour la distinction des minéraux. Ainsi on évitera de confondre la variété bleue de cristal de roche, appelée *saphir d'eau*, avec l'espèce de pierre fine connue sous le nom de *saphir oriental*, la pesanteur spécifique de la première n'étant que d'environ 2,8, tandis que

celle de la seconde est d'environ 4; et ici l'on est d'autant plus intéressé à éviter la méprise, que la différence des prix surpasse de beaucoup celle des pesanteurs spécifiques.

52. La construction de l'aréomètre de Fahrenheit, dont on se sert pour peser spécifiquement les liquides, est fondée sur un principe qui n'est autre chose qu'un corollaire du précédent; savoir, que dans un corps respectivement plus léger que l'eau, et qui, en conséquence, surnage en partie, le poids du volume d'eau déplacé par la partie plongée est égal au poids du corps entier. En plongeant successivement l'aréomètre dans des liquides de différentes densités, on fait varier son poids par les poids additionnels dont on le charge, de manière que le volume de la partie plongée soit constant; et on a ainsi une mesure commune qui sert à déterminer les pesanteurs spécifiques des divers liquides, rapportées à celle de l'eau distillée. Nous donnerons dans l'instant une description détaillée d'un instrument du même genre que cet aréomètre, d'après laquelle on pourra s'en former une juste idée.

53. L'usage des aréomètres ordinaires dépend d'une autre application du même principe, fondée sur ce qu'un corps qui surnage en partie, s'enfonce plus profondément dans les liquides moins denses que dans ceux qui ont plus de densité. Il consiste en un tube de verre terminé en boule par sa partie inférieure, et divisé dans toute sa longueur en parties égales. Pour que cet instrument puisse se tenir dans une situation verticale lorsqu'il est plongé, on soude en dessous de la boule dont nous avons parlé, une autre boule qui contient du mercure. Mais cet aréomètre ne peut qu'indiquer si une liqueur est plus ou moins dense que l'autre; il ne donne pas, comme celui de Fahrenheit, le rapport entre les deux densités.

54. Nickolson a imaginé d'employer à la détermination des pesanteurs spécifiques des solides, un instrument qui a beaucoup de rapport avec ce dernier aréomètre, et qui mérite d'être connu. Il consiste dans un tube M N (*fig.* 3) de fer blanc, surmonté d'une tige B, faite d'un fil de laiton, et qui porte à son extrémité une petite cuvette A. Cette tige est

marquée vers son milieu d'un trait *b* fait avec la lime. La partie inférieure tient suspendu un cône renversé E G, concave à l'endroit de sa base, et lesté en dedans avec du plomb. Le poids de l'instrument doit être tel, que quand on plonge celui-ci dans l'eau pour l'abandonner ensuite à lui-même, une partie du tube surnage. La cuvette qui termine la tige, et qui a la forme d'une calotte sphérique, y est assujétie au moyen d'un petit tube de fer blanc, dans lequel cette tige entre avec frottement. On a ordinairement une seconde cuvette plus large, que l'on place au-dessus de la première, dans la concavité de laquelle elle s'engage par sa convexité. On peut ainsi enlever à volonté cette seconde cuvette, soit pour retirer plus facilement les poids dont elle est chargée, comme nous le dirons dans un instant, soit pour faire quelque changement dans leur assortiment.

L'usage de cet instrument est facile à concevoir. On commence par placer dans la cuvette supérieure les poids nécessaires pour que le trait *b*, marqué sur la tige, descende à fleur d'eau : c'est ce que nous appelons *affleurer* l'aréomètre ; et la quantité de poids dont nous venons de parler se nomme la *première charge* de l'aréomètre (1). Ayant repris cette charge, on met dans la même cuvette le corps destiné pour l'expérience, et que nous supposons toujours plus dense que l'eau, puis l'on place à côté les poids nécessaires pour produire l'affleurement. On retranche cette seconde charge de la première, et la différence donne le poids du corps dans l'air. On retire l'aréomètre, pour placer le corps dans le bassin inférieur E ; puis ayant replongé l'instrument, on ajoute de nouveaux poids dans la cuvette A, jusqu'à ce que l'affleurement ait encore lieu. Ces nouveaux poids forment, avec ceux qui étaient déjà dans la cuvette, la troisième charge de la balance. On soustrait de cette charge la seconde, et la différence donne la perte que le corps a faite de son poids dans

(1) Il est presque inutile d'avertir que l'usage de l'instrument est limité aux corps dont le poids dans l'air n'excède pas cette première charge.

l'eau, ou le poids du volume d'eau déplacé, après quoi on divise par ce poids celui du corps pesé dans l'air.

55. Si l'on voulait peser une substance respectivement plus légère que l'eau, il faudrait, en la plaçant dans le bassin inférieur, l'y assujétir d'une manière fixe. Dans ce cas, le corps qui sert d'attache est censé faire partie de l'aréomètre. Du reste, l'opération est la même que dans le cas précédent; seulement, le poids du corps soumis à l'expérience, divisé par le poids du volume d'eau déplacé, donne un quotient plus petit que l'unité.

Supposons que le poids du corps étant de quatre grammes, on ait trouvé cinq grammes pour différence entre la seconde charge et la troisième; il en résulte que le corps pèse un gramme de moins qu'il ne faut, pour que son poids représente celui du volume d'eau déplacé. Ce dernier poids étant donc de 5 grammes, on aura $\frac{4}{5}$ ou 0,8 pour la pesanteur spécifique du corps.

56. Il y a des substances qui, étant plongées dans l'eau, s'imbibent de ce liquide : tel est le grès ordinaire. On s'apperçoit de cette propriété, lorsque ayant placé le corps dans le bassin inférieur E, on voit l'aréomètre descendre après être remonté, quoique la cuvette A reste chargée du même poids. Dans ce cas, on laissera le corps s'imbiber de toute la quantité d'eau qu'il peut admettre dans ses pores, et l'on jugera qu'il est parvenu à cette espèce de point de saturation, lorsque l'aréomètre restera dans une position fixe; alors on l'affleurera, et l'on cherchera, à l'ordinaire, la perte que le corps a faite de son poids dans l'eau. On cherchera ensuite le poids de la quantité d'eau dont il s'est imbibé, en le pesant dans l'air le plus promptement possible, et en retranchant le premier poids du second, puis on ajoutera la différence à la perte trouvée précédemment, et le résultat donnera la véritable perte, ou celle qui aurait lieu si le corps n'était pas susceptible d'imbibition; après quoi on opérera comme il a été dit plus haut.

Supposons que le corps pèse 10 grammes avant l'imbibition,

et que la quantité d'eau dont il s'est imbibé soit de 2 décigrammes; supposons de plus, que la perte qu'il a faite de son poids dans l'eau, y compris l'effet de l'imbibition, soit de $4^{gram.},3$; comme les corps, à égalité de volume, perdent moins de leur poids dans l'eau, à proportion qu'ils sont plus denses, il en résulte que le corps soumis à l'expérience a perdu 2 décigrammes de moins que dans le cas où l'imbibition n'aurait pas eu lieu, puisque celle-ci équivaut à un accroissement de densité : donc il faut ajouter 2 décigrammes à la perte trouvée, qui est de $4^{gram.},3$; ce qui donnera $4^{gram.},5$ pour la perte corrigée. La pesanteur spécifique du corps, considéré comme exempt d'imbibition, sera donc de $\frac{100}{45}$ ou de 2,2222, en se bornant à 4 décimales.

57. La double propriété qu'a le même instrument de pouvoir faire en même temps la fonction de véritable aréomètre et celle de balance hydrostatique, deviendrait utile dans le cas où l'on n'aurait à sa disposition qu'un liquide, dont la densité différât sensiblement de celle de l'eau distillée, et dont la température fût de plusieurs degrés au-dessus ou au-dessous de celle qui aurait été choisie comme terme de comparaison. Il serait facile de ramener le résultat de la pesée faite au moyen de ce liquide, à celui qu'aurait donné l'eau distillée à 14 degrés de Réaumur. Cette opération exige seulement une connaissance de plus, savoir, celle du poids absolu de l'instrument.

Supposons que ce poids soit de 152 grammes, et que le poids additionnel qui donne, à l'ordinaire, la première charge, quand on emploie l'eau distillée à $14^{d.}$, soit de 20 grammes, on aura 172 grammes pour la somme de ces deux poids. Supposons maintenant que le poids qui forme la première charge avec le liquide substitué à l'eau distillée, soit de $20^{gram.},5$, la somme deviendra $172^{gram.},5$: or la partie plongée de l'instrument étant la même de part et d'autre, il en résulte que les poids des deux liquides, à volume égal, ou, ce qui revient au même, leurs pesanteurs spécifiques, sont dans le rapport de 1720 à 1725.

Cela

Cela posé, il est d'abord évident que le liquide substitué à l'eau distillée donne immédiatement le poids absolu du corps soumis à l'expérience. Soit ce poids de 11 grammes; on cherchera la quantité que le corps pesé dans le liquide que l'on emploie y perd de son poids, et que nous supposerons être de $4^{gram.},7$; mais les corps pesés dans un liquide y perdent davantage de leur poids, à proportion que ce liquide est plus dense; ce qui revient à dire que les pertes sont proportionnelles aux densités des liquides. Donc on aura la perte corrigée, ou celle qui aurait lieu avec l'eau distillée, à $14^{d.}$, en multipliant $4^{gram.},7$, par le rapport $\frac{1722}{1783}$ entre les pesanteurs spécifiques des deux liquides; ce qui donne $4^{gram.},69$ pour la perte corrigée : divisant par ce nombre le poids absolu, qui est 11, on trouvera 2,3454 pour la vraie pesanteur spécifique du corps; en ne faisant aucune correction, on aurait trouvé 2,3404.

On voit, par ces détails, que l'instrument dont il s'agit, quoique peut-être moins susceptible de précision que la balance hydrostatique ordinaire, l'emporte sur elle par l'avantage qu'il a de se prêter à des usages plus variés, d'être moins dispendieux et d'un transport plus facile.

58. Les mouvemens à l'aide desquels les poissons s'élèvent et descendent alternativement dans l'eau, sont dus à la faculté qu'ont ces animaux de faire varier à leur gré la pesanteur spécifique de leur corps : c'est à quoi ils parviennent, au moyen d'une vessie communément double, à laquelle on a donné le nom de *vessie natatoire*, et qui est placée, pour l'ordinaire, au-dessus des viscères abdominaux. Un petit canal pneumatique, qui établit la communication entre l'arrière-bouche et la vessie, sert au poisson pour introduire dans cette espèce de sac un fluide aériforme, qui varie, par sa nature, suivant les différentes espèces de poissons (1). La vessie, dilatée

(1) On peut lire dans le Discours sur la nature des poissons, par Lacépède, les détails intéressans dans lesquels ce célèbre naturaliste est entré sur tout ce qui concerne la vessie natatoire de ces animaux. *Hist. nat. des poissons*, édit. in-12, t. I, p. 147 et suiv.

par cet air, détermine, relativement à l'animal lui-même, une augmentation de volume qui le rend respectivement plus léger que l'eau, ensorte qu'il s'élève dans ce liquide, sans l'intermède des organes du mouvement; et lorsqu'il veut descendre, il n'a besoin que d'expulser assez d'air de sa vessie, pour qu'il en résulte une diminution de volume qui le rende plus pesant que le volume d'eau qu'il déplace. Quelques poissons qui sont privés du canal pneumatique, paraissent agir directement sur l'air renfermé dans leur vessie, pour le comprimer ou lui permettre de se dilater.

Des observations faites par Geoffroy, et que ce savant naturaliste a bien voulu nous communiquer, prouvent que dans les deux familles de poissons, nommées *diodons* et *tétrodons*, c'est l'estomac qui, en se gonflant et en se resserrant, suivant que le poisson y introduit de l'air ou expulse une partie de celui qui en occupait la capacité, fait réellement la fonction de vessie natatoire; ensorte que la destination de cette vessie, qui néanmoins existe toujours, est de se porter, à l'aide d'un mécanisme particulier, entre la cavité de la bouche et celle de l'estomac, pour s'opposer à la sortie de l'air, lorsque le poisson veut s'élever. Parvenu à la surface de l'eau, il continue de se dilater; et bientôt il s'établit une si grande disproportion entre le poids du dos et celui du ventre, que le premier venant à l'emporter, l'animal se renverse. Dans cette position, il flotte au gré de l'eau, en se gonflant de plus en plus, de manière que son corps, qui naturellement est d'une forme alongée, passe à celle d'un globe dont la surface, hérissée d'épines, présente de toutes parts une arme défensive redoutable aux autres poissons, qui, après avoir poussé ce globe devant eux, sont forcés d'abandonner l'attaque.

De la nouvelle unité de Poids.

59. Nous ne quitterons pas cette matière, sans avoir fait connaître une opération de pesanteur spécifique également

remarquable par l'importance de son objet et par la perfection des méthodes employées pour l'exécuter; savoir, celle qui a conduit à déterminer l'unité de poids relative au nouveau système des poids et mesures. Le type commun auquel se rapportent toutes les branches de ce système, est l'unité des mesures linéaires, ou la dix-millionième partie de la distance entre l'équateur et le pôle boréal, et on lui a donné le nom de *mètre*. En comparant la grandeur de l'arc terrestre qui s'étend depuis Barcelone jusqu'à Dunkerque, telle que la donnent les opérations faites par Delambre et Méchain, avec celle de l'arc mesuré au Pérou, vers l'année 1740, on en a conclu que la distance cherchée, ou le quart du méridien situé vers le pôle boréal, était de 5130740 toises; d'où il suit que le mètre répond à une longueur de $0^{toi.},513074$, ou de 3 pieds 11 lignes $\frac{3}{10}$ à très-peu près.

60. L'unité de poids, que l'on a nommée *gramme*, est le poids absolu du cube de la centième partie du mètre, en eau distillée, prise à son *maximum* de densité. Nous verrons dans la suite, que ce *maximum* ne répond pas au terme de la congélation, mais à quelques degrés au-dessus. Ces précautions étaient nécessaires pour attacher, en quelque sorte, le résultat à un point fixe auquel on pût toujours le ramener, si l'on répétait l'expérience. Le liquide se trouvait débarrassé, par la distillation, de toutes les particules hétérogènes qui altèrent sa pureté; en le prenant au *maximum* de densité, on avait une limite au milieu de toutes les variations de volume qui résultent du changement de température. Enfin la détermination du poids absolu, qui supposait la pesée faite dans le vide, débarrassait encore le résultat d'une quantité hétérogène et variable; savoir, la perte que le corps fait de son poids dans l'air, et que l'on néglige dans les expériences ordinaires.

61. Lefebvre-Gineau fut chargé de tout ce qui concernait cette opération, ou plutôt cette réunion d'opérations toutes extrêmement délicates. La précision à laquelle il se proposait d'atteindre, excluait un moyen qui, au premier apperçu, paraît fort simple, et qui consisterait à prendre un vase

cubique, dont le côté eût un rapport connu avec le centième du mètre, à le peser d'abord seul, puis à le peser de nouveau, après l'avoir rempli d'eau distillée. La différence entre les poids donnerait le poids du volume d'eau employé; mais on conçoit, sans qu'il soit besoin d'entrer dans les détails, que le résultat serait affecté de diverses erreurs, qu'il eût été impossible d'éviter ou d'apprécier. On a donc adopté un autre moyen, susceptible d'une beaucoup plus grande exactitude : il consiste à peser spécifiquement dans l'eau un cylindre creux, de cuivre, dont on a auparavant comparé le volume avec celui du cube qui a pour côté le centième du mètre. L'opération fait connaître le poids du volume d'eau distillée égal à celui du cylindre, et l'on en conclut le poids du cube de la même eau qui représente l'unité cherchée. Nous espérons qu'on nous saura gré d'entrer ici dans quelques détails sur la marche que l'on a suivie pour arriver à ce résultat.

62. La machine destinée à mesurer le cylindre avait été construite avec autant de soin que d'intelligence, par Fortin, l'un des artistes les plus distingués de cette ville. Sans nous arrêter à en donner la description, il suffira de dire qu'elle rend appréciable une différence égale à un deux millième ou même à un quatre millième de ligne : cette évaluation se fait au moyen d'un levier, dont un des bras est dix fois plus court que l'autre; le tout est tellement disposé, que les différences réelles qu'il s'agit de déterminer, occasionnant dans le plus petit bras des mouvemens égaux à ces différences, les mouvemens du plus long bras, qui sont décuples, et qui par là deviennent sensibles au moyen d'un nonius appliqué à l'extrémité de ce bras, font connaître les deux millièmes de ligne mesurés par le jeu du bras le plus court.

Quelque attention que le même artiste eût apportée dans la fabrication du cylindre, la forme de ce solide se trouvait nécessairement affectée d'une multitude de petites inégalités qui pouvaient influer sensiblement sur le résultat, si on les eût négligées; car ici une erreur commise sur une seule des deux dimensions du cylindre, savoir, la hauteur et le diamètre

de la base, est, pour ainsi dire, une erreur cubique, et non pas seulement une erreur linéaire, comme dans la détermination d'une simple distance. Il a fallu suivre, en quelque sorte, d'un point à l'autre la surface du corps dans tous ses écarts, et mesurer un nombre suffisant de hauteurs et de diamètres, à différens endroits des bases et de la convexité, pour ramener la solidité du cylindre, qui était l'objet de l'opération, à celle d'un cylindre parfaitement régulier et d'un égal volume.

Cette opération terminée, on a pesé le cylindre dans l'air, en employant un procédé aussi simple qu'ingénieux, qui fait disparaître l'inconvénient occasionné par l'inégalité presque inévitable entre les bras des balances même les mieux exécutées. On place dans un des bassins le corps que l'on veut peser, et l'on charge l'autre bassin avec des poids quelconques, jusqu'à ce que le fléau soit horizontal. On retire ensuite le corps du premier bassin, et on le remplace par des poids connus, jusqu'à ce que le fléau ait repris la position horizontale. Il est évident que le poids de ce corps est représenté exactement par la somme des poids qu'on lui a substitués, quoiqu'il puisse bien arriver que cette somme diffère de celle des poids qui sont de l'autre côté, par une suite de la construction vicieuse de la balance.

La pesée du cylindre dans l'air, faite au moyen de ce procédé, a eu de plus l'avantage de donner précisément le même résultat que si elle avait eu lieu dans le vide. D'abord les poids substitués au cylindre étant de la même matière que ce corps, leur volume égalait celui de la partie solide du cylindre; et sous ce rapport, la perte dans l'air était aussi égale de part et d'autre. Mais de plus, on avait pratiqué à l'une des bases du cylindre une petite ouverture qui établissait une communication entre l'air intérieur et celui de l'atmosphère. Il en résulte qu'au moment de la pesée, l'air intérieur était de la même densité que celui qui avait été remplacé par le cylindre; l'air environnant lui faisait donc équilibre, et ainsi la perte de poids était nulle à cet égard.

On a pesé ensuite le cylindre dans l'eau, et comme alors le poids qui lui faisait équilibre était seul soutenu par l'air, il a

fallu tenir compte de la petite perte qu'il faisait dans ce fluide, comme n'étant plus commune au cylindre plongé dans l'eau. On a eu égard aussi à la petite augmentation de poids qu'occasionnait, par rapport au cylindre, l'air renfermé dans son intérieur. Enfin on a ramené le résultat à ce qu'il aurait été dans l'eau prise à son *maximum* de densité, et l'on a trouvé que la nouvelle unité de poids, ou le gramme, répondait à $18^{grains},82715$ de l'ancien poids de marc.

63. Nous terminerons ce qui regarde cet objet, par un exposé succinct du système des nouvelles mesures : nous avons déjà dit (59) que l'unité des mesures linéaires ou le mètre était une longueur de 3 pieds 11 lignes $\frac{3}{10}$. Ses soudivisions en parties, successivement dix fois plus petites, portent les noms de *décimètre*, *centimètre*, *millimètre*, et ses multiples décimaux, ceux de *décamètre*, *hectomètre* et *kilomètre*. On a adopté le même mode de division pour toutes les autres espèces de mesure, et l'on indique les degrés de l'échelle relative à chacune d'elles, par les mêmes expressions initiales ajoutées au nom de l'unité à laquelle ils se rapportent. Il en faut excepter les divisions de l'unité monétaire, comme nous le verrons dans l'instant.

64. Pour se ménager la facilité de réduire sur-le-champ, par approximation, une nouvelle mesure linéaire en ancienne, ou réciproquement, on peut observer que le millimètre est sensiblement égal à $\frac{4}{9}$ de ligne du pied français, ou, ce qui revient au même, la ligne est égale à $\frac{9}{4}$ de millimètre. Il en résulte que le pouce vaut 27 millimètres.

65. L'unité des mesures superficielles pour le terrain est un carré, dont le côté est de dix mètres; elle se nomme *are*, et vaut environ 948 pieds carrés.

66. On appelle *stère*, une mesure égale au mètre cube, et destinée particulièrement pour le bois de chauffage; elle répond à un peu plus de 29 pieds cubes.

67. L'unité des mesures de capacité est le cube du décimètre. On la nomme *litre*, et elle vaut à peu près 50 pouces cubes $\frac{4}{10}$. Elle surpasse de $\frac{1}{14}$ la pinte de Paris, qui contient $46^{p^o.cub.},95$.

68. Le *gramme*, ou l'unité de poids, répond, ainsi que nous

l'avons dit, à près de 19 grains. Le *kilogramme*, ou le poids de mille grammes, équivaut à 2 livres, 5 gros, 35 grains. L'once diffère très-peu de trois décagrammes, et le grain de 53 milligrammes.

69. La livre monétaire porte le nom de *franc* d'argent. Sa dixième partie s'appelle *décime*, et la centième partie, *centime*.

Il appartenait d'autant mieux à la France de voir sortir de son sein ce nouveau système de mesures qui remontent toutes à une partie déterminée de la circonférence du globe, comme à leur origine commune, que nul autre pays n'offrait une position aussi heureuse, par rapport à l'arc du méridien qui devait être mesuré; celui qui traverse la France ayant le double avantage d'être coupé par le parallèle moyen, et de reposer par ses extrémités sur les bords des deux mers. Mais ce système, dont la base est prise dans la nature et invariable comme elle, convient également à tous les peuples. Plusieurs puissances étrangères, sur l'invitation du Gouvernement français, ont envoyé des savans d'un mérite distingué, qui, réunis aux commissaires de l'Institut national, ont discuté avec eux les observations et les expériences, d'où l'on a déduit les unités fondamentales de longueur et de poids, et ont concouru ainsi, par leur zèle et par leurs lumières, à consommer cette vaste entreprise. Jamais les sciences n'ont offert un spectacle plus digne d'elles que celui de cette société si intéressante, qui, en fournissant une nouvelle preuve que les hommes éclairés de tous les pays ne composent qu'une même famille, donnait en quelque sorte sa sanction à ce système, dont l'adoption pourrait devenir le gage d'une union plus étroite entre les nations elles-mêmes.

2. De l'Affinité ou de l'Attraction moléculaire.

70. L'attraction qui sollicite les corps de notre système planétaire à tendre vers le soleil, et les uns vers les autres, ne diffère pas de celle qui détermine la chute des corps placés dans le voisinage de la terre (39). Ces derniers corps ont aussi une tendance à s'approcher les uns des autres en vertu de la même force;

mais l'effet en est détruit par l'attraction beaucoup plus énergique que la terre exerce sur eux (44). Si l'on suppose une série de corps dont les volumes aillent en diminuant, on est conduit par le raisonnement, à conclure que leur tendance mutuelle doit s'éloigner toujours davantage du terme où elle commencerait à être comparable avec l'attraction terrestre.

71. Cependant les molécules des corps solides, placées à l'extrémité de cette série, sont enchaînées les unes aux autres par une action puissante, et l'on sait jusqu'à quel point plusieurs de ces corps résistent aux efforts que nous faisons pour les diviser. Cette considération, jointe à d'autres dont nous parlerons dans la suite, a fait naître l'idée d'une nouvelle espèce d'attraction d'où dépendait la cohésion de ces molécules, et qui était distinguée de la pesanteur, en ce qu'elle n'agissait qu'au contact ou très-près du contact, et s'évanouissait à une distance tant soit peu sensible du contact. On a donné à l'attraction dont il s'agit les noms d'*affinité* et d'*attraction moléculaire*.

72. A la rigueur, l'action de l'affinité s'étend indéfiniment autour de chaque molécule. Mais comme elle diminue avec beaucoup de rapidité, ensorte que passé une très-petite distance elle cesse d'être appréciable; on la regarde comme nulle à ce terme, et l'on appelle *sphère d'activité sensible*, celle dont le centre se confond avec celui de la molécule, et dont le rayon est égal à la distance dont nous avons parlé.

73. Une observation très-simple peut déjà nous faire entrevoir la manière d'agir de cette force. Elle consiste en ce qu'un petit fragment séparé d'une masse de métal ou de pierre, ne résiste pas moins à l'effort de la lime, pour en détacher des particules, que quand ce fragment tenait au corps; d'où l'on voit que tout le reste de la masse n'influait en rien sur la force avec laquelle les particules du fragment adhéraient entre elles.

74. Diverses expériences intéressantes répandent un nouveau jour sur cette conséquence. Si l'on prend deux plaques de marbre ou deux glaces bien polies, et qu'on les fasse glisser l'une sur l'autre, pour qu'elles se touchent le plus exactement qu'il est possible, on observe qu'elles tiennent fortement l'une à l'autre.

Chacune des deux surfaces ayant, dans ce cas, un grand nombre de points qui se mettent en contact avec les points correspondans de l'autre surface, ou n'en sont séparés que par une distance extrêmement petite, il en résulte une somme d'attractions comparable, en quelque sorte, à celle qui lie entre elles deux parties d'un même corps distinguées par un plan imaginaire. La pression de l'air environnant, à laquelle on pourrait d'abord être tenté d'attribuer l'adhérence des deux corps, ne fait autre chose qu'ajouter à l'effet de l'attraction. Car si l'on place ces corps dans le vide, ils continueront d'adhérer entre eux avec une force qui sera seulement diminuée d'une quantité égale à l'action de l'air. On a remarqué que les mêmes corps, après être restés pendant quelque temps en contact, opposaient plus de résistance à leur séparation que dans le premier moment. Il paraît que l'action prolongée de la force attractive sollicite les molécules à de petites oscillations, à la faveur desquelles les parties saillantes de chaque surface se placent dans les interstices de l'autre, d'où résulte un rapprochement plus intime entre les deux surfaces.

75. Si l'on étend une couche très-mince de quelque matière grasse sur les deux surfaces, avant de les appliquer l'une contre l'autre, elles adhéreront beaucoup plus fortement entre elles. Dans ce cas, les molécules grasses servent aux deux surfaces comme de lien commun, en vertu des attractions qu'elles exercent sur chacune d'elles, et ce lien est d'autant plus puissant que les molécules dont il s'agit, non-seulement se moulent, en quelque sorte, sur les endroits où les surfaces sont de niveau, mais s'insinuent dans les cavités imperceptibles qui interrompent ce niveau, et multiplient ainsi le nombre des points attirans.

Pour juger de la grande résistance que les corps dont nous venons de parler opposent à leur séparation, il faut diriger la force qui tend à produire celle-ci dans un sens perpendiculaire aux surfaces de contact. Mais si l'on fait glisser doucement les deux corps l'un sur l'autre, on parvient facilement à les séparer. Dans le premier cas, la résistance est égale à la somme des attractions réciproques de toutes les molécules en contact; en-

sorte que, pour opérer la séparation, il faut vaincre toutes ces attractions par un effort unique. Dans le second cas, au contraire, la séparation se fait, pour ainsi dire, en détail, par des actions successives, dont chacune ne dérobe qu'une petite partie des molécules à la force attractive.

76. La figure sphérique que prennent les gouttes d'eau et de mercure, et qui a lieu même dans le vide, offre une nouvelle preuve des effets de l'attraction moléculaire. Cette figure est d'autant plus exacte, que la goutte est plus petite, et que le plan qui la soutient agit moins sur elle par son attraction particulière. Ainsi la rosée forme sur les feuilles de certaines plantes des globules qui ne les touchent que par un point. Mais les gouttes qui se trouvent sur le verre et sur différentes pierres sont seulement hémisphériques ; et comme l'attraction réciproque des molécules aqueuses est considérablement affaiblie par l'action contraire d'une autre cause que nous ferons connaître ailleurs, si la goutte qui est dans le cas dont nous venons de parler a un certain volume, la pesanteur lui fait prendre la forme d'une moitié de sphéroïde, dont le petit axe est dans une position verticale. Si au contraire la goutte est suspendue à la surface inférieure du corps, elle s'alonge de manière que c'est le grand axe du sphéroïde qui est situé verticalement.

77. Si l'on fait avancer doucement deux gouttes d'eau ou de mercure l'une vers l'autre, jusqu'à une très-petite distance, on les verra s'élancer pour se réunir en une seule. Nous aurons occasion, dans la suite, de citer beaucoup d'autres phénomènes qui dépendent de l'affinité.

Mais les effets de cette force ne se montrent nulle part d'une manière plns évidente, et à la fois plus admirable, que dans ces opérations si variées, où la chimie met les élémens des corps, pour ainsi dire, aux prises les uns avec les autres, fait renaître ce qu'elle avait détruit, ou le transforme en un être tout nouveau, et, par des décompositions et des combinaisons successives, obtient des résultats qui sont autant d'imitations fidèles de ceux de la nature, et d'autres dont celle-ci ne lui avait pas fourni le modèle.

De l'Équilibre entre les Affinités des principes qui forment les combinaisons neutres.

Quoique le développement des phénomènes qui dépendent des actions qu'exercent les unes sur les autres les molécules élémentaires des corps n'entre pas dans notre plan, le point de vue sous lequel nous allons ici les envisager n'est pas étranger à la Physique, puisqu'il nous fait appercevoir la généralité des loix auxquelles ces phénomènes sont soumis.

78. Dans la combinaison mutuelle d'un acide avec un alkali, si l'on suppose que la quantité d'alkali, d'abord très-petite, augmente progressivement par rapport à la quantité d'acide, il y aura un terme où les propriétés des deux principes disparaîtront, ensorte, par exemple, que si le sel qui résulte de la combinaison est soluble, une teinture bleue végétale, mise en contact avec la solution, ne subira aucune altération. On dit alors que la combinaison est dans *l'état neutre*.

On emploie aussi le mot de *saturation* pour indiquer le terme où les affinités réciproques des deux principes étant satisfaites, l'un quelconque des deux n'est plus susceptible de s'unir avec une nouvelle quantité de l'autre. Or ce terme ne répond pas à celui qui constitue l'état neutre. Nous allons essayer d'éclaircir cette distinction, d'après les idées du célèbre Laplace.

Lorsqu'un acide est uni avec un alkali, on peut concevoir les molécules de l'acide comme agissant par des centres d'action (41), sur les molécules de l'alkali réunies autour d'elles, de manière à former autant de petites sphères dont les centres seraient occupés par ce même acide; et la combinaison des deux principes sera celle qui donne le point de saturation, si l'alkali est dans la proportion requise, pour que le rayon de chaque petite sphère soit égal à celui de la sphère d'affinité sensible de l'acide par rapport à l'alkali (72). On peut substituer à cette hypothèse celle où les petites sphères seraient composées de molécules d'acide et auraient leurs centres occupés par l'alkali. Pour qu'il y ait saturation, il faudra encore que le

rayon de chaque petite sphère soit égal à celui de la sphère d'affinité sensible de l'alkali pour l'acide, et il est visible qu'alors les quantités relatives d'acide et d'alkali seront les mêmes que dans le cas précédent, chacune des deux hypothèses n'étant qu'une manière équivalente de concevoir les actions réciproques des deux principes qui forment la combinaison.

79. Imaginons maintenant que les centres des petites sphères étant occnpés par l'alkali, on mette une teinture bleue végétale en contact avec le sel, et qu'elle reste sans altération. Les molécules colorées sont susceptibles d'agir par affinité, soit sur l'acide, soit sur l'alkali; et, puisque dans le cas présent cette affinité ne produit aucun effet, si nous nous bornons à la considérer par rapport à l'acide, nous conclurons qu'elle est en équilibre avec celle que l'alkali exerce sur les parties de cet acide qui composent la couche extérieure de la petite sphère, ou celle avec laquelle les molécules bleues sont en contact. Le sel alors est dans l'état neutre, relativement à la teinture végétale; mais il ne s'ensuit pas qu'il y ait saturation; car si cela était, l'action de l'alkali sur l'acide se terminerait à la surface de la petite sphère, et l'affinité de la couleur bleue étant libre de s'exercer, les molécules colorées passeraient au rouge, en se combinant avec une partie de l'acide.

Ainsi, lorsqu'un sel offre les caractères de l'état neutre, à l'aide d'une expérience semblable à celle que nous venons de citer, on doit concevoir que le rayon de la sphère d'affinité sensible de l'alkali ponr l'acide s'étend plus loin que celui des petites sphères dont l'acide est supposé fournir la matière; ensorte que ces sphères sont susceptibles de s'accroître par l'addition d'une nouvelle couche d'acide, jusqu'à ce que les deux rayons soient devenus égaux. Il suit de là que l'état de saturation doit être considéré comme un terme absolu, au lieu que l'état neutre n'est qu'un terme relatif, qui dépend des affinités réciproques entre l'acide ou l'alkali et la substance colorante que l'on met en contact avec le sel.

Le sulfate de potasse peut servir ici d'exemple. Une solution de ce sel fait passer au rouge les teintures bleues végétales,

parceque la quantité d'acide, relativement à celle d'alkali, dépasse le terme qui constitue l'état neutre, et se rapproche de la limite qui répond à la saturation. On a donné aux sels qui sont dans ce cas, le nom de *sels avec excès d'acide*, ou de *sels acidules*.

Ce que nous venons de dire d'un alkali doit s'entendre généralement de toutes les bases susceptibles de se combiner avec des acides. Il y a aussi des sels dans lesquels c'est au contraire la quantité d'alkali qui, relativement à la quantité d'acide, dépasse le point d'où dépend l'état neutre, ensorte que leur action verdit les teintures bleues végétales. Ces sels sont appelés par les chimistes, *sels avec excès d'alkali*, ou *sels alkalinules*. De ce nombre sont le borate de soude, vulgairement *borax*, et le carbonate de soude.

80. Cette manière de représenter les résultats des combinaisons produites par les acides et les alkalis, conduit à expliquer ce qui arrive à deux sels neutres qui, mêlés l'un avec l'autre, échangent leurs bases, ensorte que les nouveaux produits qui naissent de cette opération sont encore dans l'état neutre. L'accord qui existe, à cet égard, entre la théorie et l'expérience, sert à dévoiler une propriété très-remarquable de l'affinité, savoir, que la loi à laquelle son action est soumise, à raison de la distance, est la même pour tous les corps, ensorte que les différences entre les actions de ces corps ne dépendent que de l'intensité plus ou moins grande de l'affinité particulière à chacun d'eux.

Pour éclaircir ceci par un exemple très-simple, imaginons une particule d'acide sulfurique logée au centre d'une petite sphère composée d'un alkali quelconque, de manière qu'il y ait saturation, et désignons par a la quantité de cet alkali. Substituons maintenant l'acide muriatique à l'acide sulfurique, et supposons que l'action du premier soit une fois moins intense que celle du second. Pour que l'acide muriatique sature la même quantité a d'alkali, il faudra, dans l'hypothèse où la loi relative à la distance serait la même de part et d'autre, que la particule de cet acide, placée au centre de la petite sphère, ait

une masse double de celle de la particule d'acide sulfurique qu'elle a remplacée. Supposons, d'un autre côté, que cette dernière particule soit capable de saturer une quantité de chaux égale à $2a$. Nous en concluons qu'il faut la même quantité $2a$ de chaux, pour saturer la particule d'acide muriatique. Car, puisque l'acide sulfurique est capable d'agir jusqu'à saturation sur deux sphères composées l'une de a d'alkali et l'autre de $2a$ de chaux, et que l'acide muriatique est dans la proportion requise pour saturer la sphère composée de a d'alkali, il faudra bien que son action sur la sphère composée de $2a$ de chaux, atteigne encore le terme de la saturation, par une suite de ce que la fonction de la distance étant la même de part et d'autre, les limites de l'action sont aussi les mêmes.

On peut supposer que la quantité a d'alkali et la quantité $2a$ de chaux, inférieures à celle qu'exige la saturation, soient seulement suffisantes pour amener, par l'exemple, l'acide sulfurique à l'état neutre ; dans ce cas, l'union des mêmes quantités avec l'acide muriatique déterminera encore l'état neutre dans un égal degré, c'est-à-dire que les rayons des petites sphères, dont on suppose les centres occupés par les deux acides, différeront de la même quantité avec les rayons des sphères d'activité sensible des mêmes acides sur l'alkali et sur la chaux.

D'après cette théorie, si l'on mêle ensemble deux sels neutres, qui aient les conditions nécessaires pour faire échange de leurs bases (1), comme cela a lieu par rapport au muriate de baryte et au sulfate de soude, les nouveaux sels qui résulteront de ce mélange, et qui seront, dans le cas présent, le sulfate de baryte et le muriate de soude, se trouveront à leur tour dans l'état neutre. Car si les deux premiers sels sont dans un tel rapport, que la quantité de baryte, par exemple, renfermée dans le muriate de baryte, soit celle qui est requise pour neutraliser la quantité d'acide sulfurique que contient l'autre sel, la quantité de sonde renfermée dans ce dernier, sera aussi

(1) Statique chymique, t. I, p. 94 et suiv.

celle qui est capable de neutraliser la quantité d'acide muriatique que contient le muriate de baryte. Si au contraire un des deux sels, tel que le sulfate de soude, est en trop grande proportion, il ne s'en décomposera que la partie nécessaire, pour que les produits de l'opération atteignent le degré qui répond à l'état neutre. Le surplus restera comme étranger à la combinaison, en conservant son état primitif, sans qu'aucune portion d'acide ou de base soit mise en liberté.

81. On avait déjà observé cette correlation entre les affinités, dans le mélange de différens sels neutres. Mais les quantités respectives de base et d'acide que plusieurs chimistes avaient assignées pour les mêmes sels, ne s'accordaient pas avec celles qu'exigeait la permanence de l'état neutre, ainsi que l'a prouvé, dans une discussion lumineuse, le célèbre Guyton, qui en a conclu que ces quantités n'étaient pas exactes (1).

Les recherches faites depuis par Berthollet, ont servi à vérifier de plus en plus l'existence des lois que nous avons exposées, et qui ne sont autre chose que des inductions de la belle théorie que ce savant chimiste a donnée sur les affinités (2). Voici une partie des résultats qu'il a bien voulu nous communiquer. Si on mêle une solution de nitrate ou d'acétate de baryte qui soit parfaitement neutre, avec une solution de sulfate de potasse ou d'ammoniaque, qui soit neutre dans un égal degré, l'échange de base qui se fait entre les deux sels employés, détermine un précipité de sulfate de baryte, et le sel qui reste en solution est encore dans un état parfaitement neutre. Le même effet a lieu lorsqu'on mêle du muriate ou du nitrate de chaux avec du sulfite de potasse ou de soude, auquel cas il se précipite du sulfite de chaux; ou lorsqu'on mêle du sulfate de ma-

(1) Mémoires de l'Institut national, Sciences mathém. et phys., t. II, p. 326 et suiv. Voyez aussi, dans la Statique chimique, t. I, p. 134, les résultats d'un travail entrepris par Richter, antérieurement à celui de Guyton, dans la vue de déterminer le véritable rapport entre les quantités de base et d'acide que renferment les sels les plus connus.

(2) Statique chimique, t. I. Mémoires de l'Institut, Sciences mathém. et phys., t. III, p. 1 et suiv.

gnésie avec du muriate ou du nitrate de baryte ou de strontiane ; c'est alors le sulfate de baryte ou de strontiane qui se précipite. La même propriété s'étend aux sels métalliques qui peuvent être amenés à l'état neutre ; ainsi le mélange du nitrate d'argent avec le muriate de potasse ou de soude détermine un précipité de muriate d'argent, et tout reste comme auparavant dans l'état neutre.

Comparaison de l'Affinité avec la Pesanteur.

82. Il était naturel de regarder cette attraction, qui ne se manifeste que dans le voisinage du contact, comme étant entièrement indépendante de la pesanteur, dont l'action franchit les intervalles immenses qui séparent les corps célestes. Aussi un grand nombre de physiciens, à la tête desquels se trouve Newton lui-même, ont-ils pensé que l'affinité devait être soumise à une loi plus rapide que celle de la raison inverse du carré des distances, et que peut-être elle suivait la raison inverse du cube.

83. Pour mieux concevoir la différence qui, d'après cette opinion, existerait entre les effets des deux attractions, reprenons la considération d'un corps sphérique *pnx* (*fig.* 2) dont toutes les particules agissent par des attractions en raison inverse du carré des distances, sur une molécule *m* située à une distance quelconque. Nous avons vu (41) que l'attraction totale qui résulte ici de toutes les attractions particulières est la même, à l'égard de la molécule *m*, que si toute la matière de la sphère se trouvait réunie au centre.

Or, dans l'hypothèse actuelle, il n'arrivera jamais que l'attraction au contact soit infinie, relativement à celle qui avait lieu avant le contact ; car le rayon de la sphère, qui mesure la distance au centre d'action dans le premier cas, sera toujours en rapport fini avec la distance qui a lieu hors du contact, et ainsi les attractions elles-mêmes seront comparables (1).

(1) Newtonis Princip. mathem., propos. 81, theor. 41, exempl. 2.

84. Supposons maintenant une autre sphère *pnx* (*fig.* 4), composée de particules qui agissent en raison inverse du cube des distances, sur une molécule *m*, située extérieurement à une distance sensible, et concevons de nouveau que toutes les particules attirantes aillent se réunir au centre *c*. Dans ce cas, les attractions des particules qui s'éloigneront de la molécule *m*, diminueront, en général, dans un plus grand rapport que celui suivant lequel augmenteront les attractions des particules qui se rapprocheront de la même molécule *m*. Donc la perte n'étant pas compensée par l'avantage, l'attraction totale des particules réunies en *c* sera devenue plus faible que quand elles agissaient de tous les points de la sphère. Donc, pour rétablir l'égalité d'attraction, il faudra supposer que le centre d'action soit situé quelque part en c', entre le centre *c* et la surface de la sphère.

Plaçons la molécule attirée plus près de cette même surface, comme en m'. Alors, pendant le mouvement des particules de la sphère vers le centre, les attractions décroissantes perdront encore davantage, en comparaison de ce que gagneront les attractions croissantes, que dans le cas où la molécule attirée était en *m*; d'où l'on voit que le centre d'action se trouvera quelque part en c'', toujours plus près de la surface. Ainsi, à mesure que la distance diminue entre la molécule attirée et la surface de la sphère, le centre d'action, de son côté, au lieu de rester fixe, comme dans l'hypothèse précédente, s'avance continuellement vers cette surface, et l'attraction s'accroît par une progression dont la limite, qui a lieu au contact, est l'infini; d'où il suit qu'elle est alors infiniment plus grande qu'à une distance appréciable du contact : à plus forte raison la même chose aura-t-elle lieu, si l'on suppose que l'attraction diminue dans un rapport plus grand que celui de la raison inverse du cube. Ces résultats, qui étaient conformes à l'observation de ce qui se passe dans les phénomènes offerts par les molécules élémentaires des corps, semblaient indiquer une ligne de séparation entre la force qui sollicite ces molécules et celle qui régit les grandes masses de notre système planétaire.

85. Il y aurait cependant une manière de concilier les actions de ces deux forces, en adoptant une idée très-heureuse de Laplace, qui consiste à supposer que les distances entre les molécules d'un corps soient incomparablement plus grandes que les diamètres de ces molécules, de manière que la densité de chaque molécule surpasse de beaucoup la densité moyenne de l'ensemble, ou celle qui aurait lieu si toute la matière des molécules était distribuée uniformément dans l'intérieur du corps. Suivant cette hypothèse, le contact donnerait une grande supériorité à la molécule attirante située dans ce même point, sur l'attraction à une distance finie du contact, conformément à l'observation; et la scène des affinités rentrerait ainsi sous la dépendance de l'attraction planétaire. Plusieurs phénomènes, entre autres l'extrême facilité avec laquelle les rayons de la lumière traversent les corps dans toutes les directions imaginables, semblent être favorables à cette hypothèse. Les diversités que présentent les résultats de l'affinité dépendraient alors de la forme des molécules élémentaires. Mais nous sommes encore loin d'avoir acquis les connaissances nécessaires, pour être en état d'appliquer le calcul aux actions intimes que les corps mus par l'affinité exercent les uns sur les autres, et de manier cette branche délicate de Physique avec l'instrument dont Newton et ses successeurs se sont servi pour élever la théorie des phénomènes célestes à un si haut degré de perfection.

De quelques Propriétés des Corps solides, qui ont du rapport avec l'Affinité.

De la Dureté.

86. La dureté est la résistance qu'un corps oppose à la séparation de ses molécules : cette propriété dépend de la force de cohésion, jointe à l'arrangement des molécules, à leur figure et aux autres circonstances. Un corps est censé plus dur, à

proportion qu'il résiste davantage au frottement d'un autre corps dur, tel qu'une lime d'acier, ou qu'il est plus susceptible d'attaquer tel autre corps sur lequel on le passe lui-même avec frottement. Les lapidaires jugent de la dureté des pierres fines et autres corps qui sont les objets de leur art, d'après la difficulté qu'ils éprouvent à les user, en les présentant à l'action de la meule.

87. Le diamant est le plus dur de tous les corps connus. Les facettes artificielles qui font ressortir la vivacité de ses reflets, sont l'ouvrage du diamant même, et ce n'est qu'à l'aide de sa propre poussière que l'on parvient à l'user et à le tailler.

88. Nous avons indiqué le frottement plutôt que la percussion, comme étant, en quelque sorte, la mesure de la dureté des corps, parceque la résistance que ceux-ci opposent à la première de ces forces, n'annonce pas toujours celle qu'ils sont capables d'opposer à la seconde. Ainsi le verre, quoique plus dur que le bois, cède plus facilement que lui à la percussion. Le diamant même se divise par l'effort du marteau, tandis que d'autres corps restent entiers dans le même cas. Cette faculté qu'ont certains corps de se prêter plus ou moins à l'effet de la percussion, pour les briser, a été désignée sous le nom de *fragilité;* d'où il suit qu'il ne faut pas confondre les corps *fragiles* avec les corps *tendres,* qui sont en opposition avec les corps *durs.* Il n'est peut-être point de corps dont la fragilité contraste plus fortement avec sa dureté, qu'une pierre verdâtre transparente, et très-sensiblement lamelleuse, qui se trouve au Pérou, et à laquelle on a donné le nom d'*euclase.* Après qu'elle a cédé, avec beaucoup de difficulté, aux efforts que l'on a faits pour l'user, on est surpris de la voir se séparer en éclats, par l'effet d'une assez légère pression.

De l'Elasticité et de la Ductilité.

89. L'action d'un corps sur un autre peut être telle, qu'il n'en résulte point l'entière séparation des parties de celui-ci, mais un simple déplacement de ses molécules, dont l'effet est

de faire varier sa figure ou même son volume. On appelle en général *compressibles*, les corps susceptibles de changer de figure par l'action d'une cause extérieure, et les résultats de ce genre d'action donnent naissance à un nouvel ordre de phénomènes qui se soudivisent en deux classes : dans l'une, le corps qui a subi le changement a la propriété de revenir de lui-même à sa figure naturelle, dès que la cause qui avait dérangé ses parties cesse d'agir sur lui. Ainsi une lame d'acier que l'on a courbée, se redresse aussitôt qu'on l'abandonne à elle-même. Cette propriété a été nommée *élasticité*, et l'on appelle *élastiques* les corps qui en sont pourvus. Dans l'autre classe, le corps conserve la nouvelle figure qu'il a été forcé de prendre. Ainsi l'inflexion qu'a subie une lame de plomb persévère, lorsque rien n'agit plus sur cette lame. Nous allons donner quelques détails sur ces deux classes de phénomènes.

90. Le retour des corps élastiques à leur forme naturelle ne se fait pas brusquement, et par un mouvement unique en sens contraire de celui qui a produit le changement de forme ; mais les molécules de ces corps font des vibrations qui les transportent successivement au delà et en deçà de leurs premières positions, et qui vont toujours en diminuant, jusqu'à ce que les molécules aient repris ces positions.

Les vibrations dont il s'agit se montrent surtout d'une manière très-marquée dans les cordes de plusieurs instrumens de musique, ainsi que nous l'expliquerons en parlant du son. Elles sont encore très-apparentes dans une lame d'acier fixée par une extrémité, et que l'on courbe en appuyant sur l'extrémité opposée, pour la laisser ensuite jouer en liberté.

91. Le choc d'un corps dur produit des effets analogues sur un globe d'ivoire, quoiqu'ils s'opèrent avec une rapidité qui les rend inappréciables pour nos sens, et que le changement même de figure que subit le globe ne puisse être apperçu ; mais on parvient à le rendre sensible en laissant tomber le globe sur une tablette de marbre noir bien unie, et enduite d'une légère couche d'huile. Lorsqu'ensuite on regarde obliquement cette tablette, on voit, à l'endroit du contact, une

tache ronde, dont le diamètre est plus ou moins considérable, suivant la hauteur d'où le globe est tombé. Or il est évident que ce corps, en conservant sa figure, n'aurait pu toucher la table que par un point; et quoique le marbre, de son côté, puisse éprouver une dépression, et se rétablir aussitôt, il n'est pas douteux que le globe lui-même ne contribue pour beaucoup à la formation de la tache par son changement de figure; ensorte que cette expérience offre une double preuve de l'effet que nous considérons.

92. Voici maintenant de quelle manière on doit concevoir le rétablissement de figure qui se fait dans le globe par une gradation imperceptible et presque instantanée : au moment du choc, les parties les plus voisines du contact sont refoulées vers le centre, tandis que les parties les plus éloignées s'avancent par un mouvement contraire; d'où il suit que le globe prend une forme aplatie dans le sens de son axe vertical, et alongée dans le sens de son axe horizontal. Lorsqu'ensuite le débandement commence, il se fait un nouveau changement de figure opposé au premier, ensorte que le globe s'alonge dans le sens de l'axe vertical, et les deux changemens de figure continuent de se succéder, en passant par des degrés décroissans, jusqu'à ce que le corps se trouve ramené à la forme globuleuse qu'il avait avant le choc.

C'est en conséquence du débandement qui suit le choc, que le globe, après avoir frappé la table de marbre, rejaillit en remontant vers le point d'où on l'a laissé tomber. Lorsque deux corps élastiques se choquent, le débandement leur imprime des vîtesses en sens contraire du mouvement qui les avait portés l'un vers l'autre. Les géomètres ont représenté par des formules les rapports de ces vîtesses dans les différens cas auxquels s'étend le phénomène.

93. Il existe un certain nombre de corps qui sont en même temps très-durs et très-élastiques, ensorte que les deux qualités paraissent avoir beaucoup de rapports entre elles. On sait à quel point l'une et l'autre s'accroissent dans l'acier, par l'opération de la trempe.

94. La plupart des physiciens qui ont essayé de donner une théorie de l'élasticité, ont surtout considéré que quand on bande un corps élastique, par exemple un arc, les particules situées du côté convexe s'éloignent les unes des autres, tandis que celles qui sont du côté concave se rapprochent. Mais de toutes les causes dont on a fait dépendre le rétablissement du corps dans son premier état, telles que l'attraction, la résistance d'une matière subtile particulière, disséminée entre les molécules du corps, l'action du calorique, il n'en est aucune qui conduise à une explication satisfaisante du phénomène.

95. C'est à l'élasticité que nous devons une grande partie des services que nous rend le fer converti en acier et travaillé par les arts. C'est d'elle qu'empruntent leur force les ressorts en spirale qui animent les montres et autres machines destinées à nous donner la mesure du temps. Mais ici l'affaiblissement du ressort, pendant qu'il se débande, deviendrait une cause de retard, relativement à un mouvement dont l'essence consiste dans son uniformité. Pour obvier à cet inconvénient, on donne à la fusée sur laquelle est enveloppée la chaîne tirée par le ressort, la forme d'un cône tronqué, dans lequel le rapport entre les diamètres des cercles parallèles aux bases est combiné avec les variations de la force motrice. Dans le premier moment où cette force jouit de toute son intensité, la partie de la chaîne qu'elle tire repose sur la spire la plus étroite de la fusée, et à mesure qu'ensuite le ressort s'affaiblit, les spires auxquelles répondent les parties de la chaîne qui se développent, vont en s'élargissant. Ainsi, d'une part, le bras de lévier sur lequel agit la résistance du rouage, reste le même, puisqu'il n'est autre chose que le rayon de la roue de fusée, dont le mouvement se communique de proche en proche jusqu'aux aiguilles. D'une autre part, le bras de lévier sur lequel s'exerce la puissance du moteur, à l'endroit qu'abandonne la chaîne en se développant, s'alonge continuellement; ensorte que la puissance motrice regagne, à chaque instant, par cet alongement, ce qu'elle perd en intensité, et tout marche comme si les deux bras de lévier étaient par-

faitement égaux. Toute la mécanique est pleine d'applications également intéressantes et ingénieuses de la force de ressort : c'est à elle qu'obéissent les pièçes qui déterminent, en un clin-d'œil, l'explosion des armes à feu portatives, les lames flexibles qui amollissent le mouvement des voitures, et les rendent d'un usage si commode, et les cordes de différens instrumens, dont les vibrations, combinées avec celles de l'air, diversifient les plaisirs de l'oreille.

96. Il n'est point de corps dont l'élasticité soit parfaite, et peut-être n'en est-il aucun qui soit entièrement dépourvu de cette qualité. Mais ici, comme par rapport à un grand nombre d'autres phénomènes, nous nous arrêtons à la limite où une qualité cesse d'être appréciable, et nous regardons comme non élastiques les corps qui, après avoir été comprimés et forcés de changer de figure, restent dans le même état, et ceux qui résistent absolument à la compression.

97. On a donné le nom de *ductilité* à la facilité qu'ont les premiers corps, et particulièrement certains métaux, de s'aplatir par la pression ou par la percussion, de manière à conserver la figure qu'ils ont prise en vertu de l'une de ces deux forces. Les molécules, dans ce cas, glissent les unes sur les autres, ensorte que les points de contact, quoique déplacés, restent toujours à des distances assez petites pour que l'adhérence continue d'avoir lieu.

98. En comparant l'élasticité, la ductilité et la dureté dans les six métaux les plus connus, on trouve que l'ordre des élasticités suit celui des duretés; et telle est la succession de ces métaux, en commençant par celui qui possède les deux qualités au plus haut degré, *fer*, *cuivre*, *argent*, *or*, *étain* et *plomb*. Les ductilités, relativement anx quatre premiers métaux, suivent une marche inverse de celle des autres propriétés, ensorte que l'ordre est celui-ci : *or*, *argent*, *cuivre* et *fer*. Mais l'étain tient le cinquième rang, et le plomb le sixième, relativement aux trois propriétés à-la-fois; ensorte que ces deux métaux sont les plus tendres, les moins élastiques et les moins ductiles de tous. C'est que le défaut de jeu nécessaire

entre les molécules, pour produire la ductilité, peut provenir également et de la grande force d'adhérence qui a lieu dans les corps durs, et de la facilité avec laquelle cette adhérence peut être totalement rompue dans les corps tendres.

99. Il y a des corps qui sont ductiles à chaud et à froid: de ce nombre sont encore les métaux; quelques-uns, tels que le verre, acquièrent de la ductilité par la chaleur; d'autres enfin, tels que l'argile, deviennent ductiles par l'interposition d'un liquide entre leurs molécules.

100. La ductilité, qui est une qualité précieuse dans les métaux, quand il s'agit de les étendre et de les appliquer sur la surface des corps, ce qui a lieu surtout par rapport à l'or, le plus ductile de tous, devient, au contraire, un inconvénient lorsqu'on les emploie en masse; et les ouvrages faits avec ces métaux, façonnés dans leur état naturel, n'auraient pas assez de consistance, et seraient sujets à se déformer et à perdre le fini que la main de l'art leur a donné. On y remédie en alliant avec le métal que l'on emploie, un autre métal dont les molécules interposées entre les siennes, en diminuent le jeu, et les lient plus fortement les unes aux autres. Au moyen de ces alliages, les arts parviennent à rendre les métaux plus durs ou plus sonores; ils en modifient à leur gré les propriétés, et les transforment en d'autres métaux intermédiaires, dont la diversité est assortie à celle de nos usages.

101. On dit d'un corps qu'il est *mou*, lorsque ses parties cèdent facilement à la pression, en conservant néanmoins une certaine adhérence entre elles. L'effet de cette pression persiste dans plusieurs corps, sans être suivie d'un retour vers la forme que ces corps avaient primitivement, et alors on peut considérer la mollesse comme n'étant qu'un haut degré de ductilité. Ce cas est celui de l'argile humectée d'eau, que nous avons déjà prise pour exemple. Mais le terme de *mollesse* a une plus grande extension que celui de *ductilité*, en ce qu'il y a des corps mous qui sont en même temps élastiques. Tel est le caoutchouc, que l'on a nommé aussi, pour cette raison, *gomme élastique*.

De la Cristallisation.

102. L'action de l'affinité sur les molécules de la matière n'a été considérée jusqu'ici que comme le moyen employé par la nature pour composer des masses d'un volume plus ou moins sensible. Du reste, nous n'avons supposé ces molécules soumises, dans leur groupement, à d'autre condition que celle de se mettre presque en contact les unes avec les autres, et nous avons fait abstraction de l'influence que leurs formes particulières et leurs positions respectives pouvaient avoir sur la structure et sur la configuration des masses. Nous avons maintenant à parler d'un des résultats les plus remarquables de cette même affinité, qui consiste dans l'arrangement régulier des molécules de certains corps, sous un aspect géométrique.

C'est à la chimie qu'appartient le développement des circonstances qui déterminent ce phénomène, où les molécules, séparées d'abord les unes des autres par l'interposition d'un liquide, se rapprochent ensuite, et se réunissent en vertu de leurs attractions mutuelles, à mesure que les molécules du liquide les abandonnent en s'évaporant, ou par une cause quelconque. On a donné à cette opération le nom de *cristallisation*, et celui de *cristaux* aux corps réguliers qui en sont les produits.

La formation des sels, qui a lieu tous les jours sous nos yeux, par l'intermède des dissolvans qu'emploie le chimiste, n'est autre chose qu'une imitation de ce qui se passe dans l'immense laboratoire de la nature, et de la manière dont s'est opérée la production de tous ces cristaux de différentes espèces qui tapissent certaines cavités du globe, ou qui se trouvent engagés dans certaines terres.

103. Ici se présente une différence très-marquée entre les minéraux et les êtres organiques. Le végétal, par exemple, tire son origine d'un germe que la nutrition développe, en lui conservant sa forme, et l'empreinte de cette forme se transmet ensuite, par la voie de la reproduction, aux individus dont la succession propage l'espèce. Tous ont leurs fleurs composées

de parties égales en nombre, et semblables par leur figure et par leur arrangement; les mêmes rapports existent dans les positions respectives des feuilles, dans leurs contours arrondis ou anguleux, unis ou dentelés. Les diversités ne tiennent qu'à des nuances légères et fugitives, ensorte qu'on peut dire que qui a vu un individu, a vu l'espèce entière.

Mais le minéral n'est qu'un assemblage de molécules similaires, réunies par l'affinité; son accroissement se fait par la juxta-position de nouvelles molécules qui s'appliquent à sa surface, et sa configuration, qui dépend uniquement de l'arrangement des molécules, peut varier par l'effet de diverses circonstances. De là cette multitude de formes différentes, et en même temps régulières et bien prononcées, qu'affectent souvent les cristaux d'une même substance. Ainsi la combinaison de la chaux avec l'acide carbonique, ou la chaux carbonatée, présente tantôt la forme d'un rhomboïde, c'est-à-dire, d'un parallélipipède terminé par six rhombes égaux et semblables, tantôt celle d'un prisme hexaèdre régulier; ici c'est un dodécaèdre terminé par douze triangles scalènes; ailleurs c'est encore un dodécaèdre, mais dont les faces sont des pentagones, etc.

104. Toutes ces différentes formes qu'un même minéral est susceptible de prendre, et qui s'éloignent quelquefois totalement les unes des autres par leur aspect, se tiennent cependant par un lien commun; et quoiqu'il ne nous ait pas encore été donné jusqu'ici de dévoiler les lois auxquelles l'Etre suprême a soumis les forces qui les produisent, nous connaissons du moins celles que suivent, dans leur arrangement, les molécules qui concourent à les déterminer. Nous allons exposer succinctement la théorie de ces lois, dont la considération est du ressort de la Physique.

Des Formes primitives des Cristaux.

105. On avait remarqué depuis long-temps qu'un grand nombre de minéraux, surtout parmi ceux qui ont des formes régulières, sont composés de lames susceptibles d'être séparées les

unes des autres, ensorte que les fragmens détachés de ces corps par la percussion, ont leurs faces planes, lisses, et plus ou moins éclatantes.

106. Nous avons donné le nom de *division mécanique* à l'opération par laquelle on parvient à faire ainsi l'anatomie d'un cristal, en saisissant, à l'aide d'nn instrument tranchant, tel qu'une lame d'acier, les joints naturels de ses lames composantes; et cette opération, exécutée sur tous les minéraux qui s'y prêtent, conduit à un résultat général, qui est comme la clef de la théorie des lois relatives à leur structnre. Il consiste en ce que, si l'on divise les différens cristaux originaires d'une même substance par des coupes qui se correspondent sur toutes les parties semblablement situées, on parvient à en extraire un solide régulier, qui est constant pour tous ces cristaux, même pour ceux dont les formes contrastent le plus fortement. Deux ou trois exemples suffiront pour faire concevoir ce résultat.

107. Soit *abef* (*fig.* 5), le prisme hexaèdre régulier, qui est une des variétés de la chaux carbonatée; on trouvera que parmi les six arêtes *in*, *nc*, *cb*, etc., de la base supérieure, il y en a trois qui se prêtent à la division mécanique. Soit *in* une de ces dernières arêtes; la division mécanique se fera suivant un plan *psut*, incliné de 135$^{d.}$, tant sur la base *abcnih*, que sur le pan *inef*. Les deux arêtes *bc*, *ah*, admettront des divisions analogues à la précédente, sans qu'il soit possible d'en opérer de semblables sur les trois arêtes intermédiaires *cn*, *ab*, *ih*.

Ce sera tont le contraire par rapport à la base inférieure *gfedrk*; car les arêtes de cette base qui admettront des divisions, seront opposées aux arêtes non-divisibles de l'autre base; c'est-à-dire, que ce seront les arêtes *de*, *gf*, *kr*. Le plan *lqyz* représente la section faite sur cette dernière arête. On aura donc six plans mis à découvert par les sections; et si l'on continue de diviser toujours parallèlement à ces sections, jusqu'à ce que toutes les faces du prisme hexaèdre aient disparu, on arrivera à un rhomboïde, qui en est comme le noyau, et que la figure représente sous son rapport de position avec ce prisme. Le grand

angle **E A I** de l'une quelconque des faces de ce rhomboïde, tel que le donne le calcul, est de $101^{d.}$ 32′ 13″.

Tout autre cristal de la même espèce, divisé mécaniquement, donnera un résultat analogue. Il ne s'agit que de trouver le sens des coupes qui mènent au rhomboïde central. Ainsi, pour obtenir tout d'un coup le noyau du dodécaèdre à triangles scalènes (*fig.* 6), on fera passer un premier plan par les deux lignes EO, OI, un second par les lignes IK, KG, un troisième par les lignes G H, H E, et déjà la moitié supérieure du noyau se trouvera à découvert; trois autres sections faites l'une sur les lignes O I, I K, l'autre sur les lignes K G, G H, la dernière sur les lignes H E, EO, achèveront de dégager le noyau. Voyez la *figure* 7, qui représente ce noyau inscrit dans le dodécaèdre.

108. Parmi les variétés de la même substance, on observe plusieurs rhomboïdes très-différens du noyau par la mesure de leurs angles. Mais chacun de ces rhomboïdes en renferme un autre qui est encore semblable au noyau. Par exemple, le rhomboïde que l'on voit *fig.* 8, et dans lequel l'angle du sommet est aigu, et a pour mesure $75^{l.}$ 31′ 20″, se soudivise par des plans qui interceptent les arêtes terminales; savoir, d'une part *ns*, *us*, *ts*, et d'une autre part *n′s′*, *u′s′*, *t′s′*, en faisant des angles égaux avec les faces qu'ils entament. Le résultat est le rhomboïde obtus AA′, qui a les mêmes angles que celui qu'on retire du prisme hexaèdre régulier, et qui est tellement situé à l'égard du rhomboïde circonscrit, que ses faces sont parallèles aux arêtes de celui-ci, comme cela doit être d'après ce qui a été dit. Cette modification d'une forme qui semble se servir de déguisement à elle-même, a peut-être quelque chose de plus surprenant encore que les diversités qui rendent d'autres formes comme étrangères par rapport à leur noyau.

109. Si l'on prend un cristal d'une autre espèce, le noyau se trouvera changé; si c'est encore un rhomboïde, il aura des angles différens. Dans telle espèce ce sera un cube, dans telle autre ce sera un prisme droit à bases rhombes, etc. Nous appelons *formes primitives*, celles de ces solides inscrits chacun

dans tous les cristaux qui appartiennent à une même espèce ; et *formes secondaires*, celles qui diffèrent de la forme primitive. Cette dernière est aussi quelquefois immédiatement produite par la cristallisation.

110. Les formes primitives observées, sont au nombre de six, en général ; savoir, le tétraèdre, qui dans ce cas est toujours régulier ; le parallélipipède, qui est tantôt rhomboïdal, tantôt cubique, etc. ; l'octaèdre, dont la surface est composée de triangles qui sont, suivant les espèces, équilatéraux, isocèles ou scalènes ; le prisme hexaèdre régulier ; le dodécaèdre à plans rhombes égaux et semblables, et le dodécaèdre composé de deux pyramides droites hexaèdres réunies par leurs bases. Le prisme hexaèdre régulier qui paraît ici parmi les formes primitives, devient, comme nous l'avons vu (107), forme secondaire, relativement à la chaux carbonatée ; et ce n'est pas le seul exemple de cette faculté qu'a un même solide de se doubler en quelque sorte par la variété de ses fonctions.

Des Formes des Molécules intégrantes.

111. Nous nous sommes arrêtés jusqu'ici à la considération du noyau, parceque ce résultat de la division mécanique étant comme une quantité constante, relativement à tous les cristaux d'une même espèce, devient une donnée commode pour la théorie, qui, en partant de cette constante, n'a plus qu'à déterminer les quantités variables, c'est-à-dire les diverses manières dont s'arrangent les molécules situées dans les parties qui servent d'enveloppe au noyau.

112. Mais avant de passer aux lois de cet arrangement, nous devons faire connaître les molécules dont il s'agit ; et c'est par la soudivision du noyau parallélement à ses différentes faces, et quelquefois dans d'autres sens encore, que l'on parvient à cette connaissance.

Supposons d'abord que le noyau soit un parallélipipède qui n'aït pas d'autres joints naturels que ceux qui sont parallèles à ses faces, et choisissons pour exemple le rhomboïde de la

chaux carbonatée. La soudivision de ce rhomboïde, par des plans toujours plus rapprochés entre eux, donnera des rhomboïdes semblables à lui, et qui iront en diminuant successivement de volume; et si l'on continue cette division par la pensée au-delà du terme où les petits solides seraient devenus insensibles à l'œil, on sera conduit à des rhomboïdes d'un tel degré de ténuité, que l'on ne pourrait plus les diviser ultérieurement sans les analyser, c'est-à-dire, sans rompre l'union des principes chimiques qui les composent. Ces rhomboïdes situés, en quelque sorte, sur la limite de la division mécanique, sont ce que nous appelons les *molécules intégrantes* de la chaux carbonatée, pour les distinguer des molécules élémentaires de la même substance, qui sont, d'une part, celles de la chaux, et d'une autre part, celles de l'acide carbonique.

113. Prenons pour second exemple le dodécaèdre à plans rhombes (*fig.* 9), qui ne peut être non plus soudivisé que parallèlement à ses faces. Nous disons que dans ce cas la molécule intégrante sera un tétraèdre. Pour le prouver, nous remarquerons que l'une quelconque des arêtes du dodécaèdre est parallèle à deux faces opposées de ce solide. Ainsi l'arête *o l* est parallèle aux faces *r s y x*, *p u z h*; l'arête *p u* est parallèle aux faces *o l r s*, *a h z q*, et ainsi des autres; d'une autre part, l'une quelconque des petites diagonales d'un des rhombes est aussi parallèle à deux faces opposées : par exemple, la petite diagonale qui passe par les points *o*, *t*, est parallèle aux faces *r s y x*, *p u z h*; donc si l'on soudivise le dodécaèdre parallélement à ses différentes faces en faisant passer, pour plus de simplicité, les plans coupans par le centre, ces plans, pris trois à trois, passeront toujours par une petite diagonale telle que *ot*, et par deux arêtes contiguës à cette diagonale, telles que *os*, *ts*, ou bien *ou*, *tu*, c'est-à-dire, que ces plans intercepteront deux triangles isocèles *ost*, *out*, sur la surface de chaque rhombe *o s t u*; mais ils passent en même temps par le centre : donc ils détacheront des tétraèdres, dont le nombre sera de 24, c'est-à-dire, double de celui des faces. La *fig.* 10 représente séparément le tétraèdre, qui a pour face

extérieure le triangle *o s t* (*fig.* 9), et l'on démontre que les quatre faces de chaque tétraèdre sont des triangles isocèles, égaux et semblables : c'est une suite de l'égalité et de la similitude qui existent entre les rhombes de la forme primitive elle-même.

114. Le prisme hexaèdre régulier, que nous choisirons pour troisième exemple, n'admet de même de soudivisions que dans des sens parallèles à ses différentes faces ; et il suffit de jeter un coup d'œil sur la *fig.* 11, où l'on a tracé sur l'hexagone régulier qui représente la base du prisme, des lignes indicatives des soudivisions, pour concevoir que la forme de la molécule est, dans ce cas, un prisme triangulaire équilatéral.

115. Considérons enfin une des formes primitives dont la soudivision ne se borne pas au parallélisme avec les faces. Tel est le prisme droit rhomboïdal représenté *fig.* 12, qui appartient à une substance nommée *staurotide* (croisette), que l'on trouve dans le département du Finistère, où ses cristaux se croisent communément deux à deux. Ce prisme, outre les divisions parallèles aux pans M,M, et à la base P, en admet d'autres parallèles à un plan qui passerait par la petite diagonale AA, et par celle de la base opposée ; d'où il suit que les molécules intégrantes sont encore ici des prismes triangulaires, mais qui ont pour bases des triangles isocèles.

Nous ne parlerons point de la division des autres formes primitives, parceque les bornes que nous sommes obligés de nous prescrire ici ne nous permettent pas d'entrer dans les détails nécessaires pour lever une difficulté qui provient de ce que cette division paraît tendre vers des molécules de deux formes différentes. Il nous suffira d'observer que l'on peut, au moyen d'une hypothèse très-admissible, en ramener le résultat à une seule forme de molécule qui est le tétraèdre, et que d'ailleurs la difficulté dont il s'agit, quand même elle subsisterait tout entière, ne toucherait point au fond de la théorie.

116. Maintenant, pour mieux faire ressortir ce qu'a de remarquable la conséquence qui se tire de la soudivision des formes primitives, relativement au nombre et aux formes des molé-

cules intégrantes, supposons qu'il s'agisse de déterminer en général les trois solides géométriques les plus simples. Comme il faut au moins quatre plans pour circonscrire un espace, il est évident que les solides demandés seront successivement terminés par quatre, cinq et six plans; et en prenant, dans chaque espèce de solide, le plus simple, on aura d'abord la pyramide triangulaire ou le tétraèdre, ensuite le prisme triangulaire, et enfin le parallélipipède. Or telles sont les trois figures élémentaires qui donnent naissance à cette grande diversité de cristaux que la nature offre à notre observation. On reconnaît ici ce que nous pourrions appeler sa devise familière, *économie et simplicité dans les moyens, richesse et variété inépuisables dans les effets.*

Les trois formes dont il s'agit sont diversifiées dans les différens minéraux par des mesures d'angles, et par des dimensions respectives particulières que la théorie détermine; et c'est en grande partie sur ces différences qu'est fondée la distinction des espèces minérales.

117. Mais une considération sur laquelle nous ne saurions trop appuyer, c'est que dans toute la série des cristaux que la théorie ramène à une même forme primitive, à l'aide des lois dont nous parlerons bientôt, la forme de la molécule est invariable relativement à la mesure de ses angles et à ses dimensions respectives; et cette constance, qui est démontrée par des faits sur lesquels il suffit d'ouvrir les yeux, et par des calculs étroitement liés avec ces faits, subsiste au milieu de toutes les diversités qui modifient la composition d'une substance. Que dans une même série de cristaux, celui-ci soit limpide et sans couleur, que celui-là renferme un principe colorant, qu'un troisième donne, par l'analyse, une certaine quantité soit de fer, soit d'une matière quelconque dont les autres cristaux n'offrent pas la moindre trace; qu'il y ait même un des principes communs à tous les individus, qui se trouve en excès dans quelques-uns, toutes ces variations, quelle qu'en soit la cause, n'effleureront pas même la forme géométrique de la molécule intégrante : c'est comme un point fixe autour duquel

tout

tout le reste semble osciller. Si donc il y a ici un problème à résoudre, ce n'est pas celui qui consiste à expliquer comment la constance des molécules peut s'accorder avec les changemens qui interviennent dans la composition, mais celui dont le but serait de concilier ces changemens eux-mêmes avec l'immutabilité que l'on ne peut se dispenser d'accorder à la forme des molécules.

118. Les divisions que nous avons considérées dans le noyau, s'étendent également à toute la matière enveloppante; d'où il suit que le cristal entier n'est autre chose qu'un assemblage de molécules intégrantes, semblables à celles dont le noyau lui-même est formé. Nous supposons que ces molécules sont les mêmes qui étaient suspendues dans le liquide où s'est opérée la cristallisation, quoique nous n'en soyons pas physiquement certains, puisque celles-ci échappent à nos yeux par leur extrême ténuité; mais dans l'étude de la nature, nous ne pouvons faire plus sagement que d'adopter ce principe, *que les choses sont censées telles en elles-mêmes qu'elles s'offrent à nos observations.* Les derniers résultats sensibles de la division mécanique des minéraux, s'ils ne nous donnent pas la figure des véritables molécules intégrantes des cristaux, méritent d'autant mieux de les remplacer dans nos conceptions, qu'en les prenant pour données, nous parvenons à représenter fidèlement les faits que nous offre la nature, et à en établir la liaison et la dépendance mutuelle.

La théorie qui concerne cet objet, consiste à rechercher les lois que suivent les molécules dans leur arrangement, pour produire ces espèces d'enveloppes régulières qui déguisent une même forme primitive de tant de manières différentes.

Des Lois auxquelles est soumise la structure des Cristaux.

119. Si l'on considère attentivement les figures des lames qui recouvrent successivement le noyau d'un cristal, et que nous appelons *lames de superposition*, on s'apperçoit qu'en partant

de ce noyau elles vont en décroissant progressivement, tantôt de tous les côtés à la fois, tantôt dans certaines parties seulement. Mais la quantité dont chaque lame est dépassée par celle qui la précède, ne peut provenir que du retranchement d'une certaine somme de molécules intégrantes qui manquent à la première pour qu'elle soit de niveau avec la seconde; et parce-que les bords des lames décroissantes sont constamment des lignes droites parallèles les unes aux autres sur les différentes lames, il en résulte que les différences dont nous avons parlé sont mesurées par des soustractions d'une ou plusieurs rangées de molécules intégrantes. Voici donc l'énoncé du problème qui se présente à résoudre : Etant donné un cristal secondaire, et la figure de son noyau et de ses molécules intégrantes étant pareillement donnée; supposant de plus que chacune des lames qui sont ajoutées au noyau soit dépassée par la précédente, dans certaines parties, d'une quantité égale à une, deux, trois rangées, etc., de molécules; déterminer parmi ces différentes lois de décroissement, celles d'où résulte une forme semblable à la proposée, par le nombre, la figure, la disposition de ses faces; et par la mesure de ses angles plans et solides.

Ces sortes de problèmes ne peuvent être résolus qu'à l'aide du calcul; mais pour faire concevoir la manière d'agir des lois dont il sert à déterminer les résultats, nous allons construire, par la méthode de synthèse, quelques formes secondaires, en rendant, pour ainsi dire, palpable la superposition et les variations des lames décroissantes sur-ajoutées au noyau.

Décroissemens sur les bords.

120. Commençons par un exemple très-élémentaire tiré du dodécaèdre à plans rhombes (*fig.* 13), que nous avons déjà vu (110) au rang des formes primitives, mais que nous considérons ici comme forme secondaire, dont le noyau est un cube. Pour extraire ce noyau, il suffit d'enlever successivement les six angles solides, tels que *s*, *r*, *t*, etc., composés chacun de quatre plans, par des coupes dirigées dans le sens des petites

diagonales. Ces coupes mettront à découvert six carrés AEOI, EOO'E', IOO'I', etc., qui seront les faces du cube primitif.

Ce cube étant un assemblage de molécules intégrantes de la même forme, il faudra que chacune des pyramides qui reposent sur ses faces, soit elle-même composée de cubes égaux entre eux, et à ceux qui forment le noyau. Or cette condition sera remplie, si la première lame, située à la base de l'une quelconque des six pyramides, a vers chacun de ses bords une rangée de cubes de moins que dans le cas où elle couvrirait entièrement la face du noyau sur laquelle repose la pyramide; et si chacune des autres lames est de même dépassée par chaque bord de la précédente, d'une quantité égale à une rangée; car il est bien évident que, dans ce cas, toutes les lames seront uniquement composées de cubes. Cet assortiment est représenté par la *fig.* 14, où l'on voit que la dernière lame se réduit à un simple cube (1).

Cette figure a été tracée dans l'hypothèse où le noyau aurait 17 molécules sur chacun de ses bords; et, comme les lames de superposition diminuent d'une rangée vers chacun de leurs bords opposés, il en résulte que les longueurs de ces bords sont successivement comme les nombres 15, 13, 11, 9, 7, 5, 3, 1, ce qui fait huit lames pour chaque pyramide. Les faces triangulaires O*s*I, O*t*I, etc., de ces pyramides, sont produites par les bords décroissans des lames de superposition qui se trouvent évidemment sur un même plan; ensorte qu'elles sont alternativement rentrantes et saillantes.

Or il y a six pyramides, et parconséquent vingt-quatre triangles. Mais parceque le décroissement est uniforme dans toute l'étendue des triangles adjacens sur les pyramides voisines, tels que O*s*I, O*t*I, il en résulte que les triangles, pris deux à deux, forment un rhombe.

La surface du solide sera donc composée de douze rhombes égaux et semblables, c'est-à-dire, que ce solide aura la même

(1) On n'a placé ici que trois des pyramides sur-ajoutées au noyau; il est facile de suppléer les autres par la pensée.

forme que celui qui est l'objet du problème. L'angle obtus de chaque rhombe a pour mesure 109$^{d.}$ 28′ 16″ (1), et l'inclinaison mutuelle de deux rhombes quelconques, adjacens entre eux, est de 120$^{d.}$.

Maintenant si, à cette espèce de maçonnerie grossière, mais qui a l'avantage de parler à l'œil, nous substituons l'architecture infiniment délicate de la nature, il faudra concevoir le noyau comme étant composé d'un nombre incomparablement plus grand de molécules d'une extrême ténuité; alors le nombre des lames de superposition étant lui-même considérablement augmenté, tandis que les épaisseurs de ces lames seront devenues imperceptibles, les cannelures que forment ces lames par les rentrées et saillies alternatives de leurs bords, échapperont aussi à nos sens; et c'est ce qui a lieu dans les polyèdres que la cristallisation a élaborés à l'aise, sans être ni pressée, ni troublée dans sa marche.

Pour énoncer le résultat qui vient d'être décrit, nous disons que le dodécaèdre est produit en vertu d'un décroissement par une seule rangée, parallélement à tous les bords du noyau cubique.

121. Si l'on imagine que les lames de superposition décroissent par deux, trois rangées, ou davantage, et toujours parallélement aux différens bords du cube primitif, alors les pyramides étant plus surbaissées, leurs faces ne pourront plus se trouver deux à deux sur un même plan; ensorte que la surface du solide secondaire sera composée de 24 triangles distincts.

122. Nous appelons *décroissemens en largeur*, ceux où chaque lame n'ayant que l'épaisseur d'une molécule, comme dans le cas que nous venons de citer, est dépassée par la précédente, d'une quantité égale à 2, 3 rangées, ou davantage. Les *décroissemens en hauteur* sont ceux qui présentent l'effet inverse, c'est-à-dire, que chaque lame n'étant dépassée par celle qui la précède que d'une quantité égale à une rangée, peut avoir

(1) C'est une suite de ce que le rapport entre la grande diagonale de chaque rhombe et la petite, est celui de $\sqrt{2}$ à 1.

une hauteur double, ou triple, ou quadruple, etc., de l'épaisseur d'une molécule. La limite de ces deux espèces de décroissemens a lieu lorsque la différence en largeur et la dimension en hauteur sont l'une et l'autre égales à l'unité, comme dans le dodécaèdre à plans rhombes originaire du cube (120).

123. Le dodécaèdre du fer sulfuré (pyrite ferrugineuse), dont la surface est composée de 12 pentagones égaux et semblables, ainsi qu'on le voit *fig.* 15, nous offre une combinaison des deux espèces de décroissemens dont nous venons de parler. Chaque pentagone, tel que *t* O *s* O'*n*, a quatre côtés égaux, savoir, O*t*, O*s*, O'*s*, O'*n*; le cinquième *tn*, que nous considérons comme la base du pentagone, est plus long que les autres. Le dodécaèdre dont il s'agit ici a encore pour noyau un cube, que l'on parviendrait à extraire en faisant passer des plans coupans par les diagonales OI, OE, AE, AI, etc. (*fig.* 16), qui interceptent les angles opposés aux bases; d'où l'on voit que les portions sur-ajoutées au noyau, au lieu d'être des pyramides, comme dans le dodécaèdre à plans rhombes, sont des espèces de coins, qui ont pour faces extérieures deux trapèzes, tels que OI*qp*, AE*pq*, et deux triangles isocèles E*p*O, A*q*I.

Chacune de ces parties additionnelles, par exemple celle que nous venons d'indiquer, résulte de deux décroissemens, l'un par deux rangées en largeur, parallélement à deux bords opposés OI, AE, de la face correspondante AEOI du noyau, l'autre par deux rangées en hauteur, parallélement aux deux autres bords EO, AI de la même face : de plus, chaque décroissement agit sur les différentes faces du cube, suivant trois directions perpendiculaires entre elles. Ainsi le décroissement par deux rangées en largeur ayant lieu sur la face AEOI, parallélement à OI et AE, comme nous l'avons dit, agit sur la face OII'O', parallélement à OO' et II', et sur la face EOO'E', parallélement à EO et O'E', et dans les mêmes sens sur les faces opposées. La marche du décroissement en hauteur, par des directions qui se croisent aussi à angle droit, se présente d'elle-même, d'après ce qui vient d'être dit.

En considérant attentivement la *fig.* 17, où l'on a rendu sensible à l'œil la distinction des lames de superposition et des molécules dont elles sont l'assemblage, on y voit que le progrès du décroissement en largeur, qui contribue, par exemple, à la formation de la partie additionnelle EOI*qp*, et qui a lieu parallèlement à l'arete OI et à son opposée, étant plus rapide que celui du décroissement en hauteur, qui se fait parallèlement à l'arête EO et à son opposée, les deux faces qui naissent du premier doivent être plus inclinées que celles qui sont produites par le second; ensorte que chaque pile de lames décroissantes ne se termine plus en pointe, mais en arête *pq*: de plus, chaque trapèze, tel que O*pq*I (*fig.* 16 et 17), qui résulte du décroissement en largeur, étant sur le même plan que le triangle O*t*I, par une suite de ce que le décroissement en hauteur qui détermine celui-ci n'est que la répétition en sens contraire du décroissement en largeur, l'ensemble des deux figures forme un pentagone *p*O*t*I*q*; d'où il suit que le solide secondaire est terminé par douze pentagones égaux et semblables, à cause de la figure régulière du noyau, et de la symétrie des décroissemens.

Si l'on suppose que les décroissemens agissent suivant deux autres lois, dont l'une soit toujours l'inverse de celle qui se combine avec elle, de manière qu'il y ait trois ou quatre rangées, etc., soustraites en largeur et autant en hauteur, le résultat sera encore un dodécaèdre à douze pentagones égaux et semblables; et il est bien évident que tous ces dodécaèdres différeront, soit entre eux, soit avec le précédent, par la mesure de leurs angles. Pour que l'existence de la loi, dont nous avons fait dépendre celui-ci, soit démontrée, il faut que l'inclinaison (1) de chaque pentagone, tel que *t*O*s*O'*n*, sur le pentagone *t*I*s*'I'*n*, qui a la même base *tn*, mesurée sur le dodécaèdre de la nature, soit égale à celle que détermine le calcul, en prenant pour donnée la loi dont il s'agit, et qui est de

(1) On conçoit aisément que cette inclinaison que nous choisissons de préférence, détermine tous les autres angles.

$126^{d.}$ 52′ 12″ (1) : or le gonyomètre donne sensiblement $127^{d.}$; d'où l'on doit conclure que la première mesure est la limite à laquelle l'instrument atteindrait lui-même, sans les petites imperfections qui ne lui permettent d'offrir autre chose que des approximations. Ce que nous disons ici a également lieu pour toutes les autres applications de la théorie : toujours quelque loi de décroissement lui fournit un résultat, dont l'accord avec celui de l'observation est aussi satisfaisant qu'on puisse le desirer.

124. On a pris le solide, dont nous venons d'expliquer la structure, pour un dodécaèdre régulier semblable à celui de la géométrie, parcequ'on était porté à supposer aux cristaux les formes qui paraissent les plus simples et les plus régulières, lorsqu'on ne considère dans le polyèdre que son aspect, et comme le fantôme d'un corps physique ; mais la théorie démontre que l'existence du dodécaèdre régulier n'est possible en vertu d'aucune loi de décroissement. La raison en est que le rapport de la quantité, dont chaque lame est dépassée par la suivante dans le sens de la largeur, avec l'épaisseur de la même lame, doit toujours être représenté par des nombres rationnels ; ce qui a lieu effectivement dans le dodécaèdre du fer sulfuré, où ce rapport est celui de 2 à 1 : au contraire, le rapport entre les deux dimensions correspondantes qui ont lieu dans le dodécaèdre régulier, est exprimé en nombres irrationnels, c'est-à-dire, qu'il représente une chose impossible (2).

(1) Pour trouver cette inclinaison, il ne s'agit que de résoudre un triangle *abc* (*fig.* 18), dans lequel le côté *ab* soit au côté *bc*, comme la distance entre le bord d'une lame et celui de la suivante, donnée par le décroissement en largeur, est à l'épaisseur de chaque lame, c'est-à-dire, comme 2 : 1. L'angle *acb* sera la moitié de l'inclinaison cherchée.

(2) Ce rapport, tel que le donnent les formules trigonométriques, est celui de $\sqrt{5}+1$ à 2, le même que celui de $\sqrt{3+\sqrt{5}}$ à $\sqrt{2}$, auquel on parvient par les formules relatives à la théorie de la structure des cristaux, et la mesure de l'angle formé par deux faces adjacentes est de $116^{d.}$ 33′ 54″, au lieu de $126^{d.}$ 52′ 12″.

Mais le défaut de symétrie qui existe à l'extérieur dans le dodécaèdre du fer sulfuré, cache un caractère de simplicité, qui consiste en ce que la molécule étant le cube, dont la figure est remarquable par sa perfection, la loi de décroissement est en même temps celle qui donne le dodécaèdre à l'aide du moindre nombre possible de rangées soustraites; ainsi il est vrai de dire que c'est là le dodécaèdre régulier de la Minéralogie.

125. Nous terminerons ce qui regarde les décroissemens sur les bords, par un exemple tiré du dodécaèdre à faces triangulaires scalènes (*pl. I*, *fig.* 6), qui est, comme nous l'avons vu (107), une des variétés de la chaux carbonatée. Ici le noyau est un rhomboïde, dont l'axe, c'est-à-dire, la ligne qui passe par les deux angles solides A,A′ (*fig.* 7), composés chacun de trois angles obtus égaux, doit être situé verticalement, pour que ce rhomboïde s'offre à l'œil sous son véritable aspect; il en résulte que la symétrie n'exige plus, comme par rapport au cube, que les décroissemens qui agissent sur l'un quelconque EO des bords de l'une des faces, telle que AEOI, se répètent sur le bord opposé AI, parceque celui-ci, qui est contigu à l'un des sommets, a en quelque sorte une manière d'être différente de l'autre. Il suffit que tout ce qui se passe à l'égard du bord EO, ait également lieu par rapport aux cinq autres OI, IK, KG, GH, HE, semblablement situés. On juge, à la seule inspection de la figure, que ces six bords qui sont communs au noyau et au cristal secondaire, servent de lignes de départ à autant de décroissemens, dont l'effet est de produire des deux côtés du même bord, tel que EO, deux triangles E*s*O, E*s*′O; ce qui fait en tout douze triangles, six vers chaque sommet.

Or le calcul démontre que, dans le cas présent, les décroissemens se font par deux rangées en largeur, ainsi qu'on le voit *pl. II*, *fig.* 19, où l'on s'est borné à tracer l'espèce de pyramide supérieure ajoutée au noyau. Les saillies et rentrées alternatives que forment les lames de superposition vers leurs bords décroissans, étant nulles pour nos sens, dans le cristal produit par la nature, la ligne E*s* représente une des arètes contiguës au sommet, telle que nous la voyons sur ce même cristal; ensorte

que la différence entre le sommet géométrique *s* et le sommet physique *s'*, s'évanouit aussi, à cause de son extrême petitesse.

126. Tandis que les lames de superposition décroissent vers leurs bords inférieurs, elles prennent, au contraire, des accroissemens vers leurs bords supérieurs, en se recouvrant mutuellement de ce même côté; et c'est un principe général, que les portions de lames situées hors de la portée des décroissemens s'étendent comme elles feraient si le noyau, en conservant sa forme, augmentait simplement de volume. Mais la théorie fait abstraction de ces variations subsidiaires, pour ne considérer que l'effet immédiat du décroissement, qui seul détermine tout le reste.

127. Un résultat qui a lieu généralement pour tous les dodécaèdres produits en vertu de la même loi, quels que soient les angles primitifs, consiste en ce que l'axe de chacun de ces dodécaèdres est triple de l'axe du noyau, et en ce que le rapport des solidités est le même que celui des axes : de plus, on trouve, à l'aide du calcul, que dans le dodécaèdre particulier dont il s'agit ici, le grand angle OE*s* (*pl. I*, *fig.* 7) de chacune des faces est rigoureusement égal à l'angle obtus EAI du noyau, c'est-à-dire, de 101$^{d.}$ 32′ 13″, et que l'incidence mutuelle de deux faces voisines OI*s*, KI*s*, sur le dodécaèdre, à l'endroit d'une des arêtes les plus saillantes I*s*, est égale à celle de deux faces pareillement adjacentes EAIO, GAIK, vers un même sommet du noyau, c'est-à-dire, de 104$^{d.}$ 28′ 40″. C'est ce qui a suggéré le nom de *métastatique* que nous avons donné à cette variété, et qui indique comme le transport ou la *métastase* des angles du noyau sur le cristal secondaire. Les solutions des problèmes relatifs à la structure des cristaux, ont servi à dévoiler une multitude de semblables propriétés, et de résultats d'une géométrie qui paraîtrait mériter d'être étudiée, quand même elle ne porterait que sur de simples spéculations. Mais cette étude présente un double intérêt, lorsque ces propriétés, dont elle offre le développement, ont un fondement réel dans la géométrie de la nature.

Décroissemens sur les Angles.

128. Indépendamment des décroissemens qui ont lieu parallélement aux bords des faces du noyau, il s'en fait aussi dont les directions sont parallèles aux diagonales; et comme ils ont des angles pour termes de départ, nous les appelons *décroissemens sur les angles.*

Soit OII′O′ (*pl. II, fig.* 20) une des faces d'un noyau cubique, soudivisée en une multitude de petits carrés qui seront les bases d'autant de molécules. On peut considérer des rangées ou des files de molécules, non-seulement dans le sens des arêtes, comme la rangée alignée suivant *aa′*, mais aussi dans le sens des diagonales, comme les rangées, dont l'une est désignée par *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, etc., l'autre par *n*, *t*, *l*, *m*, *p*, *o*, *r*, *s*, une troisième par *q*, *v*, *k*, *u*, *x*, *y*, *z*; toute la différence consiste en ce qu'ici les molécules d'une même rangée ne se touchent que par une arête, au lieu que celles qui composent les rangées parallèles aux bords se touchent par une de leurs faces. Nous nous bornerons à un seul exemple de décroissemens sur les angles.

129. La *fig.* 21 représente un octaèdre régulier qui a pour noyau un cube, dont les angles solides, comme on le voit, répondent aux centres des faces de l'octaèdre : dans ce cas, les lames de superposition décroissent par une rangée sur tous les angles des faces du noyau cubique; il en résulte qu'à l'égard de l'angle I′ (*fig.* 20), que nous choisissons pour exemple, le cube qui répond à *i* est soustrait sur la première lame; que sur la seconde il y a soustraction des deux cubes, qui répondent à *s*, *s′*; sur la troisième, de ceux qui répondent à *z*, *h*, *z′*, et ainsi de suite; ensorte que les bords situés de ce même côté, sur les différentes lames, sont alignés successivement comme BB′, DD′, GG′, etc.

Mais d'après le principe (126), que partout où le décroissement n'agit pas, le cristal s'accroît, au contraire, comme si le noyau ne faisait lui-même qu'augmenter de volume, les

lames de superposition s'étendent vers les parties situées entre leurs bords décroissans, de manière à s'envelopper mutuellement, jusqu'à ce que, les bords décroissans sur une même lame venant à se toucher, il ne reste plus que l'effet des décroissemens, qui continuent leur marche jusqu'à ce qu'ils soient arrivés à leur terme.

Chacun des huit angles solides du cube deviendra donc le point du départ de trois décroissemens qui auront lieu sur les trois plans qui concourent à la formation de cet angle, d'où il suit qu'il y aura en tout 24 faces produites en vertu des décroissemens. Mais parceque les décroissemens ont lieu par une simple rangée, il arrive encore ici que les trois faces qui naissent autour d'un même angle solide sont de niveau, et ainsi les vingt-quatre faces se réduisent à huit, et, par une suite de la forme régulière du noyau, l'octaèdre secondaire est lui-même régulier. Cette structure est celle d'une variété du plomb sulfuré, connu vulgairement sous le nom de *galène*.

Dans le même cas, et en général dans tous ceux qui ont rapport aux décroissemens sur les angles, les faces du solide secondaire ne sont plus simplement sillonnées par des stries, comme lorsque les décroissemens se font sur les bords : elles sont hérissées d'une multitude de saillies, formées par les angles solides extérieurs des molécules; mais tous ces angles étant de niveau, et les molécules étant d'ailleurs imperceptibles, les faces du cristal paraissent former des plans lisses et continus.

La figure 22 représente l'assortiment des petits cubes qui concourent à produire une des faces *smn* (*fig.* 21) de l'octaèdre dont nous avons parlé. Le cube *o* (*fig.* 22) est situé à l'angle solide du noyau marqué de la même lettre (*fig.* 21). Les cubes dont les faces sont traversées diagonalement par les lignes *bc*, *cr*, *rb*, (*fig.* 22), appartiennent aux trois premières lames de superposition qui reposent sur les trois faces du cube adjacentes à l'angle *o*; ceux que traversent diagonalement les lignes *ld*, *dg*, *gl*, appartiennent aux trois lames suivantes. Passé ce terme, les bords décroissans se touchent, de manière que chaque lame prend la figure d'un carré, dont le côté con-

tigu à la face *smn* est *ku*, *xy*, ou *hz* ; et tout marche alors par des lames de cette même figure, qui vont en décroissant de tous les côtés à la fois jusqu'aux sommets *s*, *m*, *n*, de l'octaèdre, où ces lames se réduisent à un simple cube.

130. Les lois de décroissemens sont susceptibles de certaines modifications qui offrent des moyens termes entre celles dont nous avons parlé ; mais ce n'est point ici le lieu de les faire connaître, parceque notre but n'a été que d'exposer les principes généraux de la théorie, et de donner une idée des résultats les plus ordinaires auxquels s'étendent les applications de ses méthodes.

Fécondité des lois de Décroissemens.

131. Nous nous sommes bornés à la considération des formes qui ne dépendent que d'une seule loi de décroissement, et que nous appelons *formes secondaires simples.* Mais la cristallisation nous offre très-souvent des formes que nous nommons *composées*, et dont les faces sont produites par le concours de diverses lois de décroissement ; et lorsque quelqu'une de ces lois n'atteint pas sa limite, et que son effet reste comme interrompu, le cristal secondaire présente des faces parallèles à celles du noyau, interposées entre les facettes qui sont dues aux décroissemens.

Que de combinaisons renfermées dans les nombreuses modifications de ces lois, qui, tour à tour séparées sur différens corps, et offrant dans le même corps l'assemblage de plusieurs formes, agissent tantôt de préférence sur certains bords ou sur certains angles, tantôt sur les uns et les autres à la fois, se multiplient également par la diversité de leurs mesures et par celle de leurs termes de départ ; tantôt enfin masquent entièrement le noyau, et tantôt laissent subsister son empreinte, et font servir les positions constantes de ses faces à de nouvelles variations ! Et si l'on suppose que le nombre de rangées soustraites soit lui-même très-variable, et qu'il puisse y avoir des décroissemens par vingt, trente, quarante rangées ou davan-

tage, l'imagination sera effrayée de l'immense quantité de corps réguliers dont une seule substance pourrait peupler le monde souterrain; mais la force qui produit les soustractions paraît avoir une action très-limitée, et jusques ici nous n'avons point trouvé de lois dont la mesure excédât six rangées. Telle est cependant la fécondité qui s'allie avec cette simplicité, qu'en se bornant aux décroissemens ordinaires par une, deux, trois et quatre rangées sur les bords et sur les angles d'un rhomboïde, on démontre que cette espèce de noyau est susceptible de produire huit millions trois cent quatre-vingt-huit mille six cent quatre variétés de formes différentes, tandis que le nombre de celles qui ont été observées jusqu'à présent, ne s'étend guère au-delà de soixante, relativement à la chaux carbonatée, qui est comme le Protée des minéraux.

Généralité de la Théorie.

132. Nous n'entrerons ici dans aucuns détails sur la structure des formes secondaires, dont la molécule est un tétraèdre ou un prisme triangulaire; mais nous ne croyons pouvoir mieux terminer cet article, que par l'exposé d'un résultat qui sert à lier cette structure avec celle des formes originaires du parallélipipède. La liaison dont il s'agit consiste en ce que les molécules tétraèdres, ou prismatiques triangulaires, sont toujours tellement assorties dans l'intérieur de la forme primitive et des cristaux secondaires, qu'en les prenant par petits groupes de deux, quatre ou six, elles composent des parallélipipèdes; ensorte que les rangées soustraites par l'effet des décroissemens, ne sont autre chose que des sommes de ces parallélipipèdes.

133. Ainsi dans le prisme héxaèdre régulier, dont l'hexagone ABCDFG (*pl. I*, *fig.* 11.), représente la base soudivisée en triangles, qui sont les bases d'autant de molécules, il est évident que deux triangles quelconques, voisins l'un de l'autre, tels que *Api*, AO*i*, composent un rhombe; et que parconséquent les deux prismes auxquels ils appartiennent forment, par leur réunion, un prisme droit à bases rhombes, qui est une des espèces de parallélipipèdes.

Supposons une série de lames empilées sur l'hexagone ABCDFG, et qui subissent, par exemple, sur leurs différens bords, des soustractions, dont telle soit la mesure que ces mêmes bords soient alignés successivement comme les côtés des hexagones *ilmnrh*, *kuxyge*, etc. ; l'effet sera le même que celui d'un décroissement par une rangée de petits parallélipipèdes, composés chacun de deux molécules. On conçoit que, dans le même cas, le résultat du décroissement est une pyramide droite hexaèdre qui repose par sa base sur l'hexagone ABCDFG.

134. Reprenons le dodécaèdre à plans rhombes (*fig.* 9), que nous avons vu (113) être un assemblage de tétraèdres, dont les faces sont des triangles isocèles égaux et semblables. Si nous partageons les douze rhombes en quatre assortimens composés chacun de trois plans, tels que ceux qui se réunissent pour former l'un quelconque des quatre angles solides *o*, *y*, *z*, *g*, nous pourrons considérer chaque assortiment, par exemple, celui qui renferme les trois plans *olrs*, *outs*, *olpu*, comme appartenant à un rhomboïde qui aurait un de ses sommets situé extérieurement en *o*, et dont l'autre sommet, engagé dans le dodécaèdre, se confondrait avec son centre. Or il est bien clair que, dans cette hypothèse, les vingt-quatre tétraèdres, dont le dodécaèdre est l'assemblage, se réunissent six à six pour former les quatre rhomboïdes qui ont leurs sommets extérieurs aux points *o*, *y*, *z*, *g*. Par une suite nécessaire, si l'on suppose la division mécanique poussée jusqu'à sa limite, toutes les molécules tétraèdres qui répondent à cette limite, groupées de même six à six, donneront des rhomboïdes. Or c'est en faisant décroître les lames de superposition par une ou plusieurs rangées de ces rhomboïdes, que la théorie parvient à déterminer les formes secondaires des substances qui, comme le grenat, ont le dodécaèdre à plans rhombes pour forme primitive.

135. Nous avons donné le nom de *molécules soustractives* à ces parallélipipèdes composés de tétraèdres ou de prismes triangulaires, et dont les rangées mesurent la quantité du décrois-

sement qu'éprouvent les lames de superposition. Le calcul n'a besoin que de ces parallélipipèdes pour arriver à son but ; et l'espèce d'anatomie que subissent ensuite ces petits solides, lorsqu'on essaye de remonter jusqu'à la véritable forme de la molécule intégrante, est une affaire de pure observation, qui est étrangère à la théorie. Le parallélipipède représente ici l'unité ; et peu importe qu'il y ait au-delà de cette unité, des fractions formées de ses soudivisions. Au moyen de cette conformité entre les résultats donnés par les diverses formes de molécules intégrantes, la théorie a l'avantage de pouvoir généraliser son objet, en ramenant à un même élément cette multitude de formes qui, par leur diversité, semblaient peu susceptibles de concourir en un point commun.

III. DU CALORIQUE.

136. Dans tout ce que nous avons dit jusqu'ici des corps solides, nous avons considéré leurs molécules comme réunies, d'une manière invariable, par la force de l'affinité, et nous n'avons fait attention qu'aux différentes modifications de figures qui résultaient de leur arrangement. Mais l'affinité elle-même, ou plutôt l'adhérence qu'elle produit entre les molécules, est susceptible d'une infinité de variations dépendantes d'une cause qui en balance plus ou moins l'effet, et quelquefois finit par le détruire entièrement.

Cette cause qui réside dans tous les corps, tend continuellement à écarter leurs molécules, et suivant que son action l'emporte sur celle de l'affinité, ou est en équilibre avec elle, ou enfin lui est inférieure, le corps se dilate, ou conserve son volume, ou se resserre dans un plus petit espace. Les changemens qu'elle opère dans les dimensions des corps, ordinairement assez légers pour échapper aux yeux, sont très-remarquables dans certaines circonstances dont nous citerons des exemples. Mais son action se manifeste à nous par un effet d'un autre genre, qui a un rapport intime avec notre organisation.

Lorsque cette action s'exerce avec plus d'énergie sur les corps qui nous environnent que sur le nôtre, il en résulte une rupture d'équilibre qui fait naître en nous la sensation connue sous le nom de *chaleur.* Tout le monde sait que celle-ci devient plus vive et va jusqu'à la douleur, lorsqu'on s'approche des corps embrasés où l'activité de la cause dont il s'agit s'annonce par la destruction même de ces corps. Les physiciens ont donné à cette cause les noms de *feu*, de *matière de la chaleur*, ou même de *chaleur*; les chimistes modernes la désignent sous celui de *calorique*, que nous adopterons.

137. Le calorique n'est-il que l'effet d'un mouvement intestin en vertu duquel les molécules des corps soient sollicitées à s'écarter ou à se rapprocher les unes des autres, selon les circonstances? ou bien est-ce une matière réellement existante qui écarte les mêmes molécules, ou leur permette de se rapprocher, suivant que sa quantité augmente ou diminue dans les corps? Sans rien décider entre ces deux opinions, nous emploierons le langage qui est conforme à la seconde, en la regardant seulement comme une hypothèse plus propre à aider la conception des phénomènes, et plus commode pour les exprimer.

Nous en userons de même dans toutes les occasions semblables, et particulièrement lorsque nous traiterons de l'électricité et du magnétisme, en désignant par le mot de *fluide*, les deux principes composans du fluide, soit électrique, soit magnétique, non pas pour exprimer des êtres dont l'existence n'est pas suffisamment prouvée, mais pour donner, par la pensée, un sujet à l'action des forces connues qui concourent à la production des phénomènes. Du reste, nous ne perdrons pas de vue la différence que l'on doit mettre entre les véritables fluides que nous palpons, que nous coërçons dans des vases, et ces agens, sur l'existence desquels l'observation s'est tue jusqu'ici. Nous ne les plaçons point dans la nature, mais seulement dans la théorie, parcequ'ils ont l'avantage, quand ils sont bien choisis, de représenter fidèlement les résultats, d'en offrir une explication satisfaisante, et même de nous aider à les prévoir; ensorte que s'ils ne sont pas les véritables

agens

agens employés par la nature à la production des phénomènes, ils sont censés en tenir lieu et en être les équivalens.

Nous insistons sur cette remarque, parcequ'il nous paraît essentiel au progrès des sciences, de porter partout, dans leur étude, cette justesse et cette précision d'idées, cette méthode correcte et sévère qui met chaque chose à son véritable niveau, qui évite d'en faire dire à la nature plus qu'elle n'en a dit, et de confondre une hypothèse simplement explicative, avec une vue nette des objets qui ont un fondement réel. On peut comparer la Physique à un tableau qui, pour être heureusement exécuté, doit faire ressortir la nuance expressive qui sépare la certitude de la simple vraisemblance, et où l'on doit reconnaître tour à tour une main ferme et hardie dans les traits fortement prononcés, et une main sage et mesurée, dans ceux qui demandent à être adoucis. Revenons à l'objet dont nous avions commencé à nous occuper.

C'est à la chimie qu'appartient encore le développement des effets qui dépendent de la manière dont le calorique agit dans la composition et dans la décomposition des corps. Nous le considérerons surtout dans son état ordinaire, et sous le point de vue de la Physique.

1. Des Principes sur lesquels est fondée la théorie du Calorique.

138. Dans l'hypothèse que nous avons admise, le calorique doit etre considéré comme un fluide très-subtil, éminemment élastique, qui pénètre tous les corps, dans l'intérieur desquels il est répandu plus ou moins abondamment. La quantité de ce fluide que renferme un corps, n'y jouit pas de toute sa force expansive naturelle, ainsi que nous l'expliquerons dans la suite; mais elle en conserve une partie plus ou moins considérable, en vertu de laquelle le calorique fait effort pour s'échapper du même corps, ensorte qu'il ne peut y être maintenu que par la résistance du calorique engagé dans les corps environnans, et

qui a une tendance égale à s'en échapper. Si cette égalité cesse, par une surabondance de calorique dans quelqu'un des corps, celui-ci cède aux autres une partie de son fluide, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. La tendance du calorique à s'échapper ainsi d'un corps, a été désignée par le mot de *tension*, qui assimile l'état du calorique à celui d'un ressort bandé. C'est proprement dans la quantité de cette tension que consiste ce qu'on appelle la *température* d'un corps, et suivant que la tension augmente ou diminue, la température s'élève ou s'abaisse, ce que l'on exprime aussi dans un langage plus familier, en disant que le corps s'échauffe ou se refroidit.

139. Pour faciliter l'intelligence des détails relatifs à l'objet qui nous occupe, il ne sera pas inutile de donner ici, comme par anticipation, une idée du thermomètre. Cet instrument est composé d'un tube terminé en forme de boule, et rempli d'une liqueur dont les dilatations et les contractions font connaître les variations que subit la température des corps en contact avec le thermomètre. Il en résulte que la colonne de liqueur qui occupe le tube, s'alonge et se raccourcit à mesure que la température s'élève et s'abaisse. Les mouvemens de la colonne se mesurent à l'aide d'une graduation dans laquelle on distingue deux limites, dont l'une répond au point d'abaissement de cette colonne, lorsque la température est celle de la glace fondante, et l'autre au point d'élévation de la même colonne, lorsque la température est celle de l'eau bouillante. Dans le thermomètre dit de *Réaumur*, et dans celui qu'on appelle *centigrade*, le zéro de l'échelle indique le terme de la glace fondante; mais dans le premier, l'intervalle compris entre ce terme et celui de l'eau bouillante, est divisé en 80 parties, et dans le second, en 100 parties. La soudivision est continuée dans l'un et l'autre thermomètre, au-dessous de zéro, en parties égales à celles qui soudivisent l'intervalle entre les deux limites.

140. Nous venons de dire que les dilatations de la colonne de liquide renfermée dans le tube du thermomètre annoncent les élévations de la température, quoique ce soient deux effets

distincts et produits par deux actions différentes du calorique, ainsi que nous le ferons voir. Il en est de même des contractions du liquide à l'égard des abaissemens de la température. Mais ces effets étant proportionnels entre eux, dans un thermomètre dont la construction a été dirigée vers la plus grande perfection de cet instrument, la marche de la dilatation devient ici un terme de comparaison, qui nous sert à mesurer, en quelque sorte, de l'œil celle de la température.

141. Nous ne devons pas omettre que quand on emploie le même instrument comme indicateur de la température de l'air ou de quelqu'autre corps, on suppose sa masse assez petite, pour que la quantité de calorique qu'il cède ou qu'il enlève aux substances environnantes, puisse être négligée sans erreur sensible. Nous donnerons plus bas une description développée du thermomètre, jointe à la théorie de sa construction.

142. Dans l'exposé que nous venons de faire des connaissances préliminaires relatives à la théorie du calorique, nous sommes partis des deux effets les plus remarquables de ce fluide, la dilatation et l'élévation de température qu'il produit dans les corps, à mesure qu'il s'introduit entre leurs molécules. Mais le développement des phénomènes exige que nous considérions maintenant le calorique, tel qu'il est en lui-même, lorsqu'il n'obéit qu'à ses forces naturelles, et qu'il est dégagé des espèces d'entraves que son séjour dans l'intérieur des corps met à son action. Personne ne nous paraît avoir conçu plus heureusement ce sujet que M. Pierre Prevost, ni avoir mieux saisi les propriétés qu'il convenait d'attribuer ici au calorique, pour que la théorie qui en naîtrait fût d'accord avec l'observation (1). Nous nous conformerons, dans ce qui va suivre, aux principes de ce célèbre physicien, à quelques modifications près, qui ne tendent qu'à en simplifier les applications.

(1) Recherches physico-mécaniques sur la chaleur, Paris, 1792. Mémoire sur l'équilibre du feu, Journ. de Phys., 1792, p. 314 et suiv.

Calorique rayonnant.

143. Telle est donc la manière dont le calorique, dans son état de liberté, exerce sa force expansive, que ses particules ont un mouvement rapide, qui se fait en ligne droite, tant qu'aucun obstacle ne l'arrête. Ces particules, en s'élançant comme à la file, laissent entre elles des intervalles incomparablement plus grands que leurs diamètres; d'où il arrive que quand différentes files se croisent, les molécules de chacune trouvent toujours un passage libre, pour traverser les routes suivies par les autres, ensorte que le mouvement général ne trouble point les mouvemens particuliers. Nous verrons dans la suite que ces propriétés du calorique lui sont communes avec la lumière, au moins dans l'opinion Newtonienne que nous avons adoptée.

D'après ces premières notions, on doit concevoir que, dans un espace quelconque, où le calorique est libre de se propager, il existe, à toutes les températures, une multitude innombrable de rayons du même fluide, qui se meuvent dans toutes les directions imaginables; d'où il résulte que chaque point de l'espace dont il s'agit, est comme un double centre, d'où partent et vers lequel tendent, de tous les côtés, des suites non interrompues de ces mêmes rayons.

144. Dans cet état, où le calorique abandonné à lui-même, s'élance comme la lumière, on lui donne le nom de *calorique rayonnant*. C'est sous cette forme, que l'on pourrait appeler sa forme naturelle, qu'il traverse continuellement l'air; et il la conserve, posé certaines conditions, à la rencontre des corps solides. Si la surface qui le reçoit est lisse et polie, surtout si c'est celle d'un miroir métallique, les rayons qui y arrivent obliquement, se relèvent, en faisant avec elle un angle égal à celui de leur incidence. Cette espèce de déviation, à laquelle on a donné le nom de *réflexion*, a lieu également, et suivant la même loi, par rapport à la lumière, ainsi que nous l'expliquerons, en parlant de ce dernier fluide.

Les propriétés du calorique rayonnant ont été en partie constatées, depuis long-temps, par Schéele, à l'aide de l'expérience, et l'on est étonné de la sagacité avec laquelle il les a apperçues, à une époque où ce sujet était presque entièrement neuf (1). Pour mieux étudier les caractères de ce fluide ainsi dégagé de toute contrainte, il avait choisi une des circonstances où les phénomènes qu'il produit se montrent d'une manière plus sensible, savoir, celle où il sort d'un poêle dans lequel le bois brûle avec activité, et dont on a laissé la porte ouverte. Le calorique dans cet état, ainsi que le remarque Schéele, s'élance, comme un torrent, à travers l'air environnant, et son émission a une si forte tendance pour se faire en ligne droite, que sa direction n'est point changée par le courant d'air qui se meut constamment vers la bouche du poêle, pour remplacer celui qui s'échappe, en vertu de la dilatation produite par la chaleur intérieure. Envain même agite-t-on fortement l'air situé devant la porte du poêle : la marche des rayons du calorique n'en est pas plus dérangée que celle des rayons solaires.

145. A cette première observation de Schéele, succède celle de la réflexion du calorique rayonnant, sur la surface des miroirs métalliques, suivant les mêmes lois que pour la lumière ; et si le miroir est concave, l'action du calorique se concentre à son foyer, ensorte qu'un morceau de soufre placé à ce foyer s'allume dans l'instant.

146. Tant que le calorique conserve sa forme rayonnante, soit qu'il se réfléchisse à la surface d'un corps, ou qu'il en traverse librement la masse, il n'affecte point la température de ce corps et n'en altère en aucune manière les dimensions. Schéele a encore observé cette permanence de la température, dans le cas de la réflexion. Son miroir concave de métal ne fut point échauffé, quoiqu'exposé à l'effluve abondant de calorique qui agissait avec tant d'énergie sur un corps placé à l'endroit du foyer. Mais si l'on enduisait la surface du miroir d'un peu de

(1) Traité chimique de l'air et du feu, traduit par Dietrich, 1781, pp. 118 et suiv.

suie, en la passant au-dessus d'une chandelle allumée, le calorique qui tombait sur ce miroir, perdait sa forme rayonnante, et s'unissait au métal, qui s'échauffait bientôt jusqu'au point de ne pouvoir plus être manié impunément.

Calorique sensible et Calorique latent.

147. Cette dernière observation nous présente le calorique sous un nouvel état auquel il passe, toutes les fois qu'il s'engage dans l'intérieur des corps. Il exerce alors sa force ordinairement de deux manières, comme nous l'avons déjà indiqué (136), l'une en échauffant les corps et en élevant leur température; l'autre, en leur faisant subir une augmentation de volume, à mesure qu'il écarte leurs molécules, en vertu de son élasticité.

148. Or la distinction de ces deux effets nous conduit à en admettre une dans la manière de concevoir la cause qui les produit. Elle consiste en ce qu'il y a toujours une partie de l'action du calorique, qui est employée uniquement à faire monter la température, et une autre qui n'intervient que pour dilater le volume, et qui échappe aux indications du thermomètre (1). Nous pouvons donc, pour plus de simplicité, considérer le calorique qui s'introduit dans un corps, comme étant composé de deux portions destinées à produire les deux actions dont nous venons de parler. Nous appellerons *calorique sensible* celle qui échauffe le corps, et *calorique latent* celle qui le dilate.

149. Pour mieux faire ressortir la distinction dont nous venons de parler, nous citerons ici, en prenant l'air pour exemple, quelques expériences sur lesquelles nous nous proposons de revenir, dans la suite, avec plus de détail.

Imaginons qu'une masse d'air étant d'abord resserrée de toutes parts, on augmente, à l'aide d'un moyen quelconque, l'espace qu'elle occupait, de manière, par exemple, que l'accroisse-

(1) Le fondement de cette distinction, qui est due au célèbre Laplace, se trouve dans un très-beau Mémoire publié par ce savant, conjointement avec Lavoisier. Mémoires de l'Acad. des Sciences, 1780, p. 388.

ment soit d'un dixième. Cet air s'étendra, pour remplir le vide, et, après la dilatation, sa température sera encore la même. Or il n'aura pu se dilater, en conservant ainsi sa température, sans enlever du calorique aux corps environnans, comme nous le ferons voir ailleurs. Mais ce calorique aura pris tout entier la forme de calorique latent, pour opérer la dilatation.

On peut aussi supposer que l'air, sans être soumis à l'influence des corps environnans, reçoive dès le premier instant une quantité de calorique égale à celle qu'il leur aurait dérobée. Cette quantité disparaîtra de même pendant la dilatation à laquelle son action sera employée toute entière, ensorte que la température finira encore par se retrouver au même degré qu'avant l'expérience.

Concevons au contraire qu'au lieu de permettre à l'air de s'étendre, on le tienne resserré dans l'espace primitif, et qu'en même temps on lui communique une certaine quantité de calorique additionnel. Toute cette quantité restera à l'état de calorique sensible, pour élever la température.

Imaginons enfin que l'on communique à l'air cette même quantité de calorique, plus celle qui avait servi à le dilater la première fois, et qu'ensuite on augmente encore d'un dixième l'espace dans lequel il était renfermé. Les deux effets qui avaient lieu séparément dans les expériences précédentes s'opéreront simultanément, c'est-à-dire que la quantité qui avait produit la dilatation, en passant à l'état de calorique latent, agira encore ici de la même manière, tandis que l'autre, conservant la forme de calorique sensible, fera monter la température du même nombre de degrés. Or c'est ce qui a lieu, en général, à l'égard des corps dans l'intérieur desquels le calorique s'accumule de plus en plus.

Le phénomène prendra une marche inverse, si l'on suppose qu'une certaine quantité de calorique s'échappe de l'intérieur d'un corps. Celui-ci éprouvera alors un refroidissement accompagné d'une diminution de volume. Le premier effet sera dû au dégagement d'une portion de calorique sensible, et le second à celui de la portion correspondante de calorique latent.

On peut obtenir aussi les deux effets séparément, en faisant subir à l'air des variations qui présentent de meme l'inverse de celles que nous avons citées ; c'est ce qu'on verra par les résultats des expériences qui concernent cet objet, et dont l'exposé trouvera sa place dans un autre article.

150. Pour donner une idée encore plus juste de ce qui se passe dans les phénomènes dont nous venons de parler, nous ne devons pas omettre une différence relative à la marche des actions exercées par les deux parties qui sont censées soudiviser la totalité du calorique qu'un corps reçoit dans son intérieur. Elle consiste en ce que la partie qui reste à l'état de calorique sensible est proportionnelle aux élévations de température dont elle est la cause, au lieu que la partie qui devient latente, et qui produit la dilatation, suit un rapport qui communément ne s'accorde pas avec les élévations de température, mais qui subit d'un instant à l'autre des inégalités, suivant le plus ou moins de facilité du corps pour se prêter à l'action de cette partie, à raison de la distance entre ses propres molécules et des autres modifications susceptibles de varier avec la dilatation elle-même. Cette observation nous sera utile, lorsque nous traiterons du thermomètre.

Équilibre du Calorique.

151. Pendant le passage à l'équilibre de température entre deux corps, l'un chaud, l'autre froid, et que l'on suppose séparés, ces corps s'envoient continuellement l'un à l'autre des quantités de calorique rayonnant, qui tendent vers l'égalité ; et c'est au terme où elle a lieu, que l'équilibre se trouve établi. De plus, une partie des rayons envoyés par chaque corps est émise de son intérieur, et une partie de ceux qu'il reçoit s'y introduit ; et c'est de l'une et de l'autre partie que dépendent les variations de la température et du volume. Le reste des rayons envoyés ou reçus provient des réflexions qui ont lieu à la surface, et n'a, comme nous l'avons déjà dit, aucune influence sur la température ; sur quoi nous remarquerons que

les surfaces qui sont ternes et inégales conservent néanmoins la propriété de réfléchir, jusqu'à un certain point, le calorique rayonnant, dont l'analogie avec la lumière se soutient encore dans ce cas.

152. L'émission et l'absorption du calorique comparées soit entre elles, soit avec la réflexion du même fluide, nous fournissent deux principes sur lesquels repose, en grande partie, l'explication des phénomènes dans lesquels les corps sont placés hors du contact. L'un consiste en ce que le pouvoir d'émettre le calorique interne, que nous nommerons *le pouvoir émissif*, et celui d'absorber le calorique qui vient du dehors, ou *le pouvoir absorbant*, s'accroissent et diminuent par des degrés égaux dans un même corps. Si l'un est doublé ou triplé, par l'effet de quelque circonstance, l'autre le sera pareillement. Le second principe, est que le pouvoir réfléchissant, à mesure qu'il varie relativement à un même corps, détermine une égale variation en sens contraire dans le pouvoir d'émettre ou d'absorber le calorique; autant l'un augmente, autant l'autre diminue, et réciproquement; ensorte que tout ce qu'un corps, que l'on suppose avoir reçu un nouveau degré de poli, réfléchit de plus qu'auparavant, sur une quantité donnée de calorique, est la mesure de ce qu'il émet ou absorbe de moins.

153. Mais pour procéder par degrés, dans le développement des phénomènes, concevons d'abord deux corps A et B dont le pouvoir réfléchissant soit nul, ensorte que tout le calorique rayonnant qu'ils lancent l'un vers l'autre, provienne de leur intérieur. Concevons de plus que ces corps étant en présence l'un de l'autre, la température de A soit plus élevée que celle de B. Ils s'enverront, comme par échange, une portion de leur calorique, sous forme rayonnante. Mais comme A est plus chaud que B, il lui en enverra davantage dans un temps donné, qu'il n'en recevra de lui; ensorte que la quantité de calorique perdue par B étant plus que compensée, au lieu que, relativement au corps A, il n'y aura point compensation, la température de B s'élevera, tandis que celle de A s'abaissera. A mesure que les échanges se multiplieront, la différence entre

les deux températures diminuera, et au terme où les quantités échangées seront devenues égales, il y aura égalité entre les températures elles-mêmes, et alors chaque corps continuera d'envoyer à l'autre autant de calorique qu'il en recevra, et cette uniformité d'échanges persévérera, tant que le système restera à la même température.

154. Imaginons, pour fixer nos idées, que la quantité de calorique rayonnant que chaque corps reçoit ou envoie, dans cet état d'équilibre, étant composée de quatre cents rayons, la surface de A acquierre tout-à-coup la faculté de réfléchir à l'extérieur deux cents rayons, parmi les quatre cents qui lui arrivent. Le pouvoir émissif et le pouvoir absorbant se trouveront diminués d'autant (152), ensorte qu'au lieu de quatre cents rayons qui étaient émis ou absorbés par le corps A, dans un temps donné, il n'y en aura plus que deux cents. Ainsi les deux corps continueront de s'envoyer l'un à l'autre quatre cents rayons; mais à l'égard de B, tout sera émis ou absorbé, et par rapport à A, une moitié sera réfléchie, et l'autre sera émise ou absorbée, d'où l'on voit que l'uniformité de température continuera d'avoir lieu dans chacun des deux corps.

Supposons enfin que B acquierre à son tour un pouvoir réfléchissant, mais qui soit seulement une fois moindre que celui de A. Il sera facile d'en conclure que parmi les quatre cents rayons envoyés ou reçus par B, trois cents seront soumis à l'émission ou à l'absorption, et les cent autres à la réflexion, tandis que les choses se passeront encore de même par rapport au corps A; c'est-à-dire, qu'il émettra ou absorbera deux cents rayons, et en réfléchira deux cents. De cette manière, la répartition qui se fait, entre la surface et l'intérieur de chaque corps, de la quantité de calorique que ce corps reçoit ou envoie continuellement, satisfait en même temps, au rapport entre les pouvoirs réfléchissans, et à la condition d'une température constante.

155. Il existe un autre mode de passage à l'état d'équilibre, où le calorique sensible conserve sa forme. C'est celui qui a lieu entre plusieurs corps en contact les uns avec les autres,

par des températures différentes. Alors une portion du calorique renfermé dans les corps plus chauds, s'introduit immédiatement dans ceux qui sont plus froids, et s'y répand de proche en proche, avec plus ou moins de difficulté, avec plus ou moins de lenteur, jusqu'à ce qu'il y ait partout uniformité de température.

Influence de la capacité de Calorique.

156. Reprenons maintenant le cas où les corps en commerce de calorique sont séparés les uns des autres, et examinons de plus près la marche du phénomène, pendant les momens qui précèdent l'équilibre. D'une part, les réflexions qui ont lieu à la surface des corps dépendent du rapport entre les pouvoirs réfléchissans. D'une autre part, l'effet du calorique qui s'engage dans l'intérieur des corps est soumis à l'influence de la nature particulière de chaque corps, ce qui apporte de grandes variations dans les quantités de calorique qui doivent être cédées ou dérobées par les différens corps, pour que l'égalité de température s'établisse. Pour mieux faire concevoir en quoi consiste cette influence, supposons d'abord un corps A, placé à distance, entre deux autres corps B et C, égaux en masse, et qui aient une même température, mais plus basse que celle du corps A. Si les trois corps sont homogènes, B et C, au moment de l'équilibre, auront reçu de A des accroissemens égaux de calorique interne, et le rapport entre la partie employée à déterminer l'élévation de température et celle qui produira la dilatation, sera le même de part et d'autre.

L'égalité aura encore lieu, dans le cas où B et C seulement seraient homogènes.

157. Il en sera tout autrement, si les trois corps sont hétérogènes, ou même si l'un des corps B et C diffère de l'autre par sa nature. Alors la condition de l'équilibre exigera que le corps A ait cédé aux deux autres des quantités inégales de calorique, et celle que chacun de ces derniers corps aura acquise sera

plus ou moins considérable, suivant que ce corps, en vertu de sa nature particulière, de sa contexture et des autres circonstances, aura besoin d'employer plus ou moins de calorique à son élévation de température et à la dilatation qui en est la suite. On conçoit, par exemple, que la portion de calorique requise pour la dilatation devra être plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, si l'affinité qui détermine la cohésion des molécules du corps oppose plus de résistance à leur écartement. C'est cette disposition à s'emparer de tout le calorique nécessaire pour produire le double effet dont nous venons de parler, que nous nommons en général *capacité de calorique*.

Ainsi, dans l'hypothèse où B aurait une capacité plus grande que celle de C, elle exigerait que le calorique fût plus accumulé dans l'intérieur du même corps, pour que le résidu de la force expansive naturelle de ce fluide fût égal à celui de la force du calorique de C, qui serait moins abondant, mais en même temps moins captivé. De là vient que si un thermomètre appliqué au corps B restait stationnaire, il le serait également, lorsqu'ensuite on le présenterait au corps C; parceque les tensions du calorique étant égales dans les deux corps, le thermomètre, à son tour, ne pourrait se trouver en équilibre de tension avec le corps B, sans y être aussi avec le corps C.

158. Les choses ont lieu d'une manière analogue dans le passage à l'état d'équilibre entre des corps de différentes natures, en contact les uns avec les autres. Les quantités de calorique cédées par les corps plus chauds à ceux qui le sont moins, dépendent, toutes choses égales d'ailleurs, des capacités de calorique. Nous n'en dirons pas davantage, pour le moment, sur cette propriété, dont la notion trouvait ici naturellement sa place. Mais ce sujet est assez important pour qu'il soit nécessaire de le reprendre dans la suite, et d'en faire la matière d'un article séparé.

Influence de la Faculté conductrice.

159. Une dernière cause, qui ne doit pas non plus être omise, influe sur la durée du passage des corps à l'équilibre

thermométrique. Cette cause est la faculté conductrice du calorique, c'est-à-dire la facilité ou la promptitude plus ou moins grande avec laquelle une même quantité de calorique se propage dans l'intérieur des corps de diverse nature. Il en résulte que si l'on suppose deux corps également chauds, qui aient une même capacité de calorique, mais qui diffèrent par leur faculté conductrice, et si l'on place ces corps au milieu de deux masses d'air plus chaudes ou plus froides du même nombre de degrés, ils emploieront des temps inégaux pour arriver à l'équilibre de température soit entre eux, soit avec l'air environnant, ensorte que le moment de cet équilibre se trouvera retardé relativement au corps dont la faculté conductrice sera moindre.

160. On a observé que les métaux sont, en général, de très-bons conducteurs du calorique, tandis que le verre, la résine et autres substances semblables ne possèdent que faiblement la faculté de le conduire. L'artiste qui souffle une boule à l'extrémité d'un tube de verre, tient impunément ce tube à une distance assez petite de la partie qui est dans un état d'incandescence, tandis qu'il lui serait impossible de supporter la chaleur qu'acquerrait, dans le même cas, un tube de fer ou de quelqu'autre métal. Tout le monde sait qu'un bâton de cire à cacheter, réduit à une petite portion de sa longueur, peut être employé au même usage, sans exiger d'autre précaution que de laisser un intervalle de quelques millimètres entre la main qui le tient et la partie fondue. Le progrès de la chaleur, dans ce cas, s'étend à peine plus loin que celui de la fusion, ou même de l'inflammation.

161. Les mêmes causes qui troublent ou rétablissent l'équilibre thermométrique entre les divers corps renfermés dans un même espace, agissent pour déterminer les sensations variées que nous éprouvons, suivant les différentes températures des corps qui sont à notre portée. Une substance qui est en contact avec notre main, lui cède une portion de son calorique, qui dépend, toutes choses égales d'ailleurs, du rapport entre les capacités de calorique, et à l'occasion de la sensation qui en

résulte, nous disons de cette substance qu'elle est chaude. Au contraire, une substance que nous touchons, et dont la température est plus basse que celle de notre main, lui enlève une portion de son calorique ; et à l'occasion de la sensation qu'excite en nous cette privation de calorique, nous disons que la substance est froide. Ainsi la température de notre corps est à notre égard la limite du chaud et du froid; mais au fond, il n'y a ici qu'une différence du plus au moins, entre deux modifications qui nous paraissent opposées, d'après le témoignage de nos sens. Aussi, à proportion que la limite varie, c'est-à-dire que la température de notre corps s'élève et s'abaisse, nous jugeons froide la même substance qui nous avait paru chaude dans une autre circonstance, et réciproquement.

On sait encore que nous trouvons les caves froides pendant l'été, et chaudes pendant l'hiver. Le contraste de ces deux sensations provient de ce que la température des souterrains dont il s'agit étant à-peu-près constante, son degré est intermédiaire entre ceux auxquels répond la température de notre corps dans les deux saisons.

2. Application de la Théorie précédente à divers Phénomènes.

Nous avons déjà exposé plusieurs faits qui paraissent ne pouvoir être expliqués d'une manière plus heureuse, que par le rayonnement du calorique, dans l'hypothèse d'une matière productrice de la chaleur. Mais ce sujet exige de nouveaux développemens relatifs à de nouvelles expériences, pour motiver, en quelque sorte, l'admission d'un rayonnement réciproque et d'une espèce de commerce non interrompu du même fluide, entre les divers corps situés en présence les uns des autres ; pour montrer comment son action se modifie, à l'aide d'un simple changement dans le poli et l'éclat des surfaces, et comment enfin tous les mouvemens de cet agent invisible sont décelés par le thermomètre qui leur sert comme de témoin. Ce

sont autant d'inductions qui vont découler, comme d'elles mêmes, d'une suite de phénomènes très-dignes d'attention, dont la liaison intime avec les principes établis précédemment, en fera sentir à-la-fois la justesse et la fécondité.

Dans le nombre des savans qui ont contribué à étendre la sphère de nos connaissances, relativement à cet objet, il en est deux, M. le comte de Rumford et M. Leslie, que nous aurons principalement occasion de citer. Le premier s'est rendu doublement célèbre par une suite d'expériences ingénieuses, dont les résultats intéressans lui assignent un rang distingué parmi les physiciens, et dont les applications utiles le placent parmi les bienfaiteurs de l'humanité (1). Le travail de l'autre, indépendamment de la beauté et de la variété des faits, est remarquable par la profondeur que l'auteur a mise dans sa manière d'en étudier la marche, et d'en développer les conséquences (2).

Il règne presque partout entre les faits auxquels ces deux physiciens sont parvenus, sans s'être concertés, un accord bien précieux dans des recherches aussi délicates. La divergence n'a lieu que par rapport aux théories qu'ils ont adoptées, et dont nous donnerons dans la suite une idée, d'après laquelle on pourra les comparer, soit entre elles, soit avec celle qui nous a paru mériter la préférence.

Appareils destinés pour les Expériences.

162. Commençons par faire connaître les principaux instrumens employés par les deux physiciens. M. de Rumford en a imaginé un qu'il nomme *thermoscope*, et qui consiste dans un tube de verre A B (*fig.* 23) recourbé vers ses deux extrémités, dont chacune est renflée en forme de boule M ou N. L'inté-

(1) Voyez entre autres l'ouvrage de ce savant, qui a pour titre : *Mémoires sur la chaleur*, Paris, an XIII, (1804.)

(2) An Experimental Inquiry into the nature and propagation of heat. London, 1804.

rieur du tube est rempli d'air, à l'exception d'un petit espace occupé par une bulle g d'alkohol teint en rouge, de manière que quand la température de l'appareil est uniforme, la bulle doit se trouver au milieu de la partie A B du tube, laquelle est maintenue par un support, dans une position horizontale. M. de Rumford donne à cette bulle le nom d'*index*.

Les choses étant dans cet état, si l'on place vis-à-vis d'une des boules, telle que M, un corps dont la température soit plus élevée que celle du thermoscope, le calorique rayonnant que ce corps envoie à l'instrument étant plus abondant que celui qu'il en reçoit par échange, l'air renfermé dans la boule M s'échauffera, et son élasticité se trouvant augmentée, l'index sera chassé vers la partie occupée par l'autre boule N. Le contraire arrivera, si la température du corps soumis à l'expérience est plus basse que celle du thermoscope. Telle est la sensibilité de cet instrument, que quand il est à la température de 10 ou 12 degrés de Réaumur, si l'on tient la main ouverte, à la distance d'un mètre, ou trois pieds, d'une des boules, le calorique émané de cette main suffit pour faire avancer l'index de plusieurs millimètres du côté opposé.

Les corps que l'on présentait à l'instrument, dans les expériences ordinaires, étaient des vases cylindriques de laiton, dont la surface avait un beau poli. On les remplissait, suivant les circonstances, d'eau plus ou moins chaude ou de glace, dont la température était indiquée par un thermomètre plongé dans cette eau, et on les disposait de manière que leurs bases étaient tournées vers les boules du thermoscope.

163. Dans l'appareil de M. Leslie, le calorique qui produit les phénomènes est réfléchi par la surface d'un miroir de fer blanc, d'une figure parabolique ou elliptique, auquel l'auteur donne le nom de *réflecteur*. Les corps d'où émane le calorique, et qui font la même fonction que les cylindres dont se sert M. de Rumford, sont des vases cubiques de ferblanc, destinés aussi à contenir de l'eau plus ou moins chaude, dans laquelle on plonge de même un thermomètre ordinaire qui en fait connaître la température. M. Leslie laisse à l'une des faces

latérales

latérales du cube son poli et son éclat. Il colle une feuille de papier sur la face opposée, ou il peint cette face avec du noir de fumée. La garniture des deux autres faces varie aussi, suivant le but que l'on se propose. On place le vase cubique à une certaine distance du réflecteur, de manière qu'ayant son centre situé sur l'axe de ce réflecteur, il tourne vers sa concavité la face qui est le sujet de l'expérience.

Pour mesurer l'action du calorique, M. Leslie emploie, au lieu du thermoscope décrit ci-dessus, un thermomètre particulier dont le tube est courbé sous la forme de la lettre U, et dont les deux branches sont terminées par deux boules égales. L'auteur donne à l'une de ces boules, le nom de *boule focale*, parceque, dans les expériences, elle occupe toujours le foyer du réflecteur. Lorsque cette boule est échauffée, l'air intérieur, en se dilatant, pousse de haut en bas une colonne d'acide sulfurique teint en rouge avec du carmin, qui passe, en partie, de la branche adjacente dans l'autre branche, où son mouvement est indiqué par une graduation appliquée à cette dernière branche. Chaque degré de l'échelle est un millième de l'intervalle compris entre le terme de la congélation et celui de l'eau bouillante. L'auteur appelle cet instrument *thermomètre différentiel*, parceque le mouvement de la liqueur y dépend de la différence d'élasticité entre les quantités d'air renfermées dans les deux boules, et dont l'une est soumise à l'influence du foyer, tandis que l'autre reste à la température du lieu.

Entrons maintenant dans le détail des expériences, en remontant jusqu'à celles qui ont précédé les travaux des deux savans dont nous venons de parler, et essayons de ramener à un petit nombre de points fixes cette grande diversité de résultats que les unes et les autres ont offerte.

Effets de la réflexion du Calorique.

164. Le calorique est susceptible de subir une réflexion semblable à celle de la lumière. Nous avons déjà cité (145)

une expérience de Schéele, dans laquelle il s'est servi d'un miroir concave de métal, pour prouver cette propriété du calorique. Saussure et Pictet en ont confirmé depuis l'existence, à l'aide d'un appareil plus susceptible de se prêter à des observations variées.

Ces deux savans ayant fait rougir fortement un boulet de fer de 54 millimètres, ou 2 pouces, de diamètre, le laissèrent refroidir au point qu'il n'était plus lumineux, même dans l'obscurité. Ils avaient préalablement disposé deux miroirs concaves, l'un vis-à-vis de l'autre, à environ quatre mètres ou douze pieds de distance; ils fixèrent le boulet au foyer de l'un, tandis qu'ils tenaient un thermomètre d'air au foyer de l'autre. La chambre où se faisait l'expérience était exactement fermée, et toutes les précautions avaient été prises pour écarter tout ce qui aurait pu occasionner des variations accidentelles dans la température de l'air. A peine le boulet eut-il été placé à l'un des foyers, que le thermomètre qui occupait l'autre, et qui auparavant marquait 4 degrés au-dessus de zéro, commença à monter, et parvint, en six minutes, à 14 degrés $\frac{1}{2}$, tandis qu'un second thermomètre suspendu hors du foyer, à la même distance et du boulet et de l'observateur, ne monta qu'à 6 degrés; d'où il résulte que, dans cette expérience, la réflexion du calorique rayonnant a élevé la température de 8 degrés $\frac{1}{2}$. Dans la vue d'écarter encore mieux le soupçon que ce phénomène fût l'effet d'une lumière imperceptible pour l'œil, Pictet a répété l'expérience, en substituant au boulet de fer un matras rempli d'eau bouillante, et le thermomètre situé à l'autre foyer a indiqué une élévation de température de plus d'un degré (1).

Pour expliquer ces résultats, supprimons d'abord les miroirs par la pensée; le boulet et le thermomètre feront directement entre eux des échanges continuels de calorique, qui, étant à l'avantage du thermomètre, éleveront sa température. Replaçons maintenant les miroirs; de nouveaux échanges auront

(1) Saussure, Voyage dans les Alpes, n° 926.

lieu, à l'aide des rayons qui, en partant de chacun des deux corps, iront frapper la surface du miroir voisin, et réfléchis parallélement à l'axe vers l'autre miroir, convergeront, après une seconde réflexion, vers le foyer de celui-ci. Or il est facile de voir que l'effet de cette double réflexion ajouté à celui qui provenait des échanges directs, devait accélérer très-sensiblement l'élévation de température dans le thermomètre.

165. Ces expériences ont été suivies d'une autre qui a présenté un de ces faits inattendus, capables de séduire l'observateur, s'il ne laissait le temps à la méditation de prendre la place de la surprise. L'appareil ayant été disposé comme précédemment, on plaça un thermomètre d'air au foyer d'un des miroirs, et un matras plein de neige au foyer de l'autre ; à l'instant le thermomètre descendit de plusieurs degrés, et remonta ensuite, aussitôt qu'on eut enlevé le matras : celui-ci ayant été remis au foyer du même miroir, on versa de l'acide nitrique sur la neige, et l'augmentation de froid qui en résulta fit descendre le thermomètre de cinq ou six degrés (1).

Ce phénomène qui paraît indiquer, au premier apperçu, une émission réelle de rayons frigorifiques transmis du matras rempli de neige au thermomètre, à l'aide d'une double réflexion sur la surface des miroirs, n'est cependant qu'une espèce d'inversion des effets que nous avons déjà expliqués, d'après la seule considération du calorique rayonnant. Sans la présence des miroirs, déjà le thermomètre éprouverait un abaissement marqué de température, en perdant aux échanges qu'il ferait avec le matras. Mais de plus, il s'établit, par l'intermède des miroirs, un grand nombre de nouveaux points de communication entre le matras et le thermomètre, et cette circonstance détermine une succession d'échanges beaucoup plus nombreuse et plus rapide que celle qui aurait lieu, sans l'intervention des miroirs, entre le thermomètre et les corps environnans dont ces miroirs interceptent les actions. Et comme

(1) Essais de Physique, par Pictet, Genève, 1790, p. 81 et suiv. On trouve aussi dans cet ouvrage les détails relatifs aux expériences précédentes.

d'ailleurs la grande différence de température rend les échanges très-désavantageux pour le thermomètre, il en résulte que, tout compensé, il doit subir un refroidissement très-sensible. On a ici le même avantage, pour diminuer la chaleur du thermomètre, qu'on avait pour l'accroître, lorsqu'au lieu d'un corps plus froid que lui, on plaçait au foyer de l'autre miroir un corps plus chaud; seulement, dans l'expérience du matras, l'émission la plus abondante de calorique prend une route opposée à celle qu'elle suivait dans l'expérience du boulet; et c'est ce changement de direction, qui en impose à l'imagination, en lui offrant une véritable réflexion du calorique, sous l'apparence d'un froid réfléchi (1).

Influence du Poli et de l'Eclat des Surfaces.

166. Nous avons déjà parlé (146) de l'influence qu'ont le poli et l'éclat des surfaces, sur la quantité soit de calorique réfléchi, soit de celui qui est émis ou absorbé. Lorsqu'on se sert de l'appareil de M. de Rumford, le thermoscope reste stationnaire à égale distance entre deux cylindres également polis, dont la température est la même, soit lorsqu'elle surpasse celle de l'instrument, soit lorsqu'elle lui est inférieure (2). On conçoit aisément que cela doit être, puisque les échanges que les cylindres font, dans chaque cas, avec l'instrument, étant semblables, leurs effets doivent être les mêmes pour augmenter ou diminuer l'élasticité des deux masses d'air situées de part et d'autre de l'index, ensorte que celui-ci conserve son équilibre.

Maintenant si l'on noircit la base d'un des cylindres, lorsque

(1) Dans cette explication, ainsi que dans la précédente, nous avons fait abstraction des échanges de calorique rayonnant, qui ont lieu directement entre les miroirs et les corps placés à leurs foyers, parceque ces échanges influent seulement sur les quantités de chaud ou de froid produites par les réflexions, et non sur la disposition des corps à subir l'une de ces affections plutôt que l'autre.

(2) Mém. sur la Chal. p. 43.

la température du thermoscope est plus basse que celle de ces cylindres, que l'on suppose toujours également chauds et à égale distance des deux boules, l'index se rapproche de la boule tournée vers le cylindre à base polie (1). Mais si la température du thermoscope est plus élevée que celle des cylindres, l'index est chassé vers la boule qui regarde le cylindre noirci.

Pour saisir la raison de cette différence, il suffit de remarquer que la diminution qu'a subie le pouvoir réfléchissant du cylindre noir, a déterminé un accroissement proportionnel soit de pouvoir émissif, soit de pouvoir absorbant (152). Mais lorsque les cylindres sont plus chauds que le thermoscope, l'action du pouvoir émissif du cylindre noir est plus favorisée par la température de ce cylindre, que celle de son pouvoir absorbant ne l'est par la température du thermoscope; d'où il suit que les échanges entre les cylindres et l'instrument étant plus avantageux à ce dernier, dans la partie qui regarde le cylindre noir, l'air devient en même temps plus chaud et plus élastique du même côté, et l'index s'avance du côté opposé. Si au contraire la température du thermoscope est plus élevée que celle des cylindres, on conçoit que c'est l'effet inverse qui doit avoir lieu. Alors le cylindre noir gagne plus aux échanges que le cylindre poli, et l'index est chassé du côté du cylindre noir, où l'air est moins échauffé, à raison des pertes plus grandes que l'instrument fait de ce même côté.

167. Les expériences de M. Leslie l'ont conduit à des résultats analogues. Ce savant ayant rempli d'eau bouillante le vase cubique de fer blanc dont nous avons parlé (163), le disposa d'abord de manière que la face noire regardait le réflecteur. Bientôt le thermomètre différentiel monta à 100$^{d.}$ La face brillante fut ensuite tournée vers le réflecteur; le thermomètre différentiel descendit rapidement à 12$^{d.}$ (2).

(1) Mém. sur la Chal., p. 44.

(2) An Inquiry, etc., pp. 17 et 18.

168. Les observations précédentes mettent en évidence la cause d'un fait observé depuis long-temps; savoir, que les habits noirs sont chauds par un soleil d'été, tandis qu'ils sont bien éloignés de l'être à l'ombre, surtout par un temps froid. Car lorsqu'étant vêtus de noir, nous nous trouvons exposés au soleil, notre corps est à-peu-près dans le même cas que le cylindre noirci, vis-à-vis d'un thermoscope plus chaud que lui, et dont la présence fait monter davantage la température de ce cylindre, que s'il était poli. Au contraire, sommes-nous exposés à l'ombre, surtout si la température de l'air est plus basse que celle de la peau? nous éprouvons un effet analogue à celui du cylindre noirci, vis-à-vis d'un thermoscope plus froid que lui, et avec lequel il fait des échanges plus désavantageux que s'il était lisse et brillant.

On sait que les surfaces blanches, à égalité de poli, réfléchissent plus de lumière que celles qui sont colorées. Ainsi, en étendant à la blancheur l'analogie qui existe d'ailleurs entre la réflexion du calorique et celle de la lumière, et en raisonnant des mêmes surfaces, à-peu-près comme de la base du cylindre qui a conservé son éclat métallique, on en conclura que pendant l'hiver, les vêtemens blancs doivent être plus chauds que les autres, ce qui s'accorde avec un fait déjà connu par l'expérience; savoir, que ces mêmes vêtemens sont les plus frais que l'on puisse porter en été, surtout lorsqu'on est exposé aux ardeurs du soleil (1).

Influence des différentes Natures des Substances.

169. La diversité de nature entre les substances influe aussi sur la quantité du rayonnement par réflexion et sur celle du calorique absorbé. Schéele avait déjà remarqué que quand on présentait à un effluve de calorique un miroir de verre, au

(1) Mém. sur la Chaleur, pp. 125 et 126.

lieu d'un miroir métallique, il retenait, au moins en grande partie, le calorique, sans lui permettre de s'échapper par la réflexion (1). M. Leslie ayant couvert de papier à écrire une des faces du vase cubique de son appareil, et une autre d'une lame de verre commun, l'effet du thermomètre différentiel qui n'était que de 12$^{d.}$, comme nous l'avons dit (167), lorsque le vase tournait sa face libre vers le réflecteur, monta à 98$^{d.}$, par l'influence de la face couverte de papier, et à 90$^{d.}$ par celle de la face couverte de verre (2). La disposition du papier pour réfléchir le calorique étant beaucoup moindre que celle du métal, son pouvoir émissif qui variait en sens opposé, faisait croître d'autant la quantité de calorique que le réflecteur recevait du papier, et qui de là rayonnait vers la boule focale. D'une autre part, le verre dont le pouvoir réfléchissant surpassait peu celui du papier, et était très-inférieur à celui du métal, agissait par émission un peu moins que le premier et beaucoup plus que le second.

170. On concevra, d'après les mêmes principes, pourquoi le thermomètre différentiel n'indique qu'un léger effet, lorsqu'on enveloppe la boule focale d'une feuille d'étain, et cela dans le cas où la surface noire du vase cubique est tournée vers le réflecteur. L'effet n'est guère plus sensible, lorsque la boule focale étant nue, on substitue au réflecteur métallique un miroir concave de glace (3). Dans cette dernière circonstance, la plus grande partie du calorique que le vase cubique lance vers la glace étant absorbée par celle-ci, est perdue pour le thermomètre différentiel.

171. M. Leslie a imaginé une manière piquante de faire contraster les résultats des expériences précédentes. Il prend deux lames de verre, et colle une feuille d'étain sur l'une des faces de chacune d'elles. Il les applique l'une sur l'autre ensorte que les faces étamées soient en contact, et les dispose verticale-

(1) Traité chimique de l'air et du feu, Paris, 1781, pp. 121 et 125.
(2) An Inquiry, etc., pp. 17 et 18.
(3) *Ibid.* pp. 19 et 20.

ment, comme un écran, entre le vase cubique rempli d'eau chaude et le thermomètre différentiel. Au bout d'un instant, cet instrument indique 18d. de chaleur acquise. L'auteur retourne ensuite les deux lames de verre, de manière que les deux faces étamées se trouvent en dehors. La liqueur du thermomètre descend alors vers le bas de l'échelle (1). Dans ce second cas, la feuille d'étain qui regarde le vase cubique, repousse, par la réflexion, une grande partie du calorique qu'elle reçoit; l'autre partie passe dans les lames de verre et y reste presque toute entière à l'état de calorique sensible, soit par une suite de la nature même du verre, soit parceque la feuille d'étain qui est du côté opposé a un pouvoir réfléchissant qui ne laisse que peu d'action au pouvoir émissif, ensorte que tout le calorique qui est sorti du vase cubique est à-peu-près perdu pour le miroir. Mais lorsque les faces étamées sont en contact, le calorique lancé par le vase cubique, après s'être introduit dans la lame de verre qui est tournée vers ce vase, se répand dans les feuilles d'étain, au moyen de la communication qui se fait par le contact, et enfin pénètre la seconde lame de verre, d'où il s'en échappe assez pour produire, à l'aide du réflecteur, une action très-sensible sur le thermomètre différentiel.

Circonstance remarquable où le Thermoscope reste stationnaire.

172. Un thermoscope placé à égale distance entre deux corps semblables, reste stationnaire, lorsque sa température est moyenne entre les températures de ces corps. Dans cette expérience, l'une des plus remarquables qu'ait faites M. de Rumford, deux cylindres de mêmes dimensions étaient situés de part et d'autre d'une même boule du thermoscope, de manière qu'ils tournaient leurs bases vers deux points opposés de cette

(1) An Inquiry, p. 35.

boule. La température du thermoscope, ainsi que celle de l'air environnant, étant, par exemple, plus basse de 30$^{d.}$ que celle de l'un des cylindres, et plus haute du même nombre de degrés que celle de l'autre cylindre, l'index demeurait sans mouvement, entre les deux cylindres dont néanmoins les températures variaient continuellement en approchant de l'égalité (1).

Pour appercevoir la raison de cet effet singulier, il faut d'abord considérer que le rapport est le même entre les capacités de calorique du thermoscope et de chacun des deux cylindres, ainsi qu'entre les pouvoirs réfléchissans, puisque les cylindres sont semblables par leur nature, par leur forme et par leur poli. Or les quantités de calorique que le thermoscope reçoit de chaque cylindre et lui envoie, dépendent et de ce rapport et du nombre de degrés dont la température de chaque cylindre excède celle de l'instrument ou lui est inférieure; donc, puisque ce nombre est aussi le même de part et d'autre, il en résulte que si le thermoscope reçoit du corps chaud, dans un instant donné, mille particules pour dix qu'il lui envoie, il en enverra mille au cylindre froid, pour dix qu'il recevra. Ainsi le thermoscope regagnant continuellement d'un côté ce qu'il perd de l'autre, conservera constamment sa température; les échanges entre les deux cylindres se feront, pour ainsi dire, à son insu par son canal (2).

173. Maintenant si l'on noircit les deux cylindres, les températures étant les mêmes, l'index restera encore immobile. Car autant la perte que fait chaque cylindre de son poli et de son éclat diminue en lui le pouvoir réfléchissant, autant elle augmente le pouvoir émissif et à la fois le pouvoir absorbant. De là il suit que si le cylindre chaud lance de son intérieur, vers le thermoscope, deux cents rayons de plus, par exemple,

(1) Mém. sur la Chaleur, p. 57.

(2) M. de Rumford avait eu la précaution de disposer des écrans d'une manière convenable, pour preserver la boule opposée à celle qui était en expérience, de l'action des corps présentés à celle-ci, et de toute influence étrangère.

dans le premier instant, que quand il était poli, et qu'il reçoive du thermoscope, quatre rayons de plus par absorption, le thermoscope lancera vers le corps froid deux cents rayons de plus pour être absorbés, et en recevra quatre de plus, par émanation de l'intérieur. Donc tout étant compensé, l'équilibre subsistera.

Lois du Refroidissement des corps en général, et de la Propagation de la chaleur par l'intermède des corps solides.

174. Si l'on partage en plusieurs instans égaux, tels que des minutes, l'intervalle de temps qu'un corps emploie à se refroidir d'un nombre donné de degrés, et si l'on prend successivement des nombres de minutes qui, en partant de l'origine du refroidissement, forment une progression arithmétique, les différences correspondantes entre la température du corps et celle de l'atmosphère environnante sont en progression géométrique. Cette loi a été indiquée par Newton dans son mémoire qui a pour titre: *Echelle des degrés de chaleur et de froid* (1). Pour qu'elle existe, il suffit, ainsi que l'a remarqué M. Prevost (2), qu'à chaque instant un corps, que l'on imagine placé dans un espace absolument froid, perde, par le rayonnement, une partie de sa chaleur interne, qui ait toujours le même rapport avec ce qui lui en reste. Par exemple, si dans le premier instant il perd $\frac{1}{10}$ de tonte sa chaleur, il faudra que dans le second instant, il perde $\frac{1}{10}$ des $\frac{9}{10}$ qui lui restent, et ainsi de suite. Et si le corps, au lien d'être situé dans un espace sans chaleur, se trouve plongé dans un milieu moins chaud que lui, mais sans cesse renouvelé, de manière à conserver constamment sa température, la même loi aura lieu

(1) Transact. Philos., avril, 1701, nº 2. Newtonis Opusc., t. II, p. 419.

(2) Recherches physico-mécan. sur la chaleur, p. 23.

pour l'excès de chaleur du corps dont il s'agit, sur la température du milieu environnant. Car comme la portion de la chaleur du corps égale à la chaleur du milieu, échange avec celle-ci des quantités égales, le corps est dans le même cas, que s'il occupait un espace froid, avec une chaleur mesurée par la différence entre sa véritable température et celle du milieu dans lequel il est plongé.

Krafft et Richmann avaient déjà démontré cette loi par des expériences directes (1). M. de Rumford en a depuis confirmé l'existence, à l'aide d'un appareil fort simple, qui consistait dans un vase cylindrique de laiton, garni extérieurement d'une enveloppe propre à contenir la chaleur. On remplissait le vase d'eau chaude, dans laquelle était plongé un thermomètre à mercure. La marche du refroidissement comparée à la durée des temps correspondans fit reconnaître cette loi dont nous avons parlé, et que l'on peut représenter par une logarithmique, ainsi que l'a fait M. de Rumford (2).

175. La même loi, reproduite sous une autre forme, dans la propagation de la chaleur, par l'intermède des corps solides, a fourni, plus récemment au célèbre Biot, une nouvelle application de l'analyse mathématique à la Physique. Voici en quoi consiste l'appareil qu'il a employé.

Supposons une barre métallique mise en communication avec une source constante de chaleur, telle qu'un vase rempli d'eau chaude ou de plomb fondu, dont on entretient la température au même degré. La chaleur qui abonde dans cette source se communiquera, de proche en proche, aux différentes parties de la barre, et si l'on considère l'état d'un point quelconque, pendant cette communication, on doit concevoir que ce point reçoit de celui qui le précède une certaine quantité de calorique dont il communique une partie au point suivant, tandis qu'une autre partie se dissipe dans l'air, soit par le contact

(1) Nova Commentaria Acad. Petrop., t. I, p. 195.

(2) Mém. sur la Chaleur, p. 12.

immédiat de ce fluide, soit par le rayonnement. Tant que la perte due à ces deux causes est moindre que la quantité de calorique reçu, la température des différens points de la barre s'élève continuellement, et il est facile de juger qu'elle est plus haute dans les points plus voisins de la source de chaleur; et plus basse dans ceux qui en sont plus éloignés, de manière qu'elle forme une série de termes décroissans, en allant de l'extrémité plongée dans la même source vers l'extrémité opposée. Or, à mesure que chaque point s'échauffe, sa disposition à recevoir de nouveau calorique diminue, et en même temps la quantité de calorique qu'il perd à chaque instant, diffère toujours moins de celle qu'il reçoit, et lorsque les deux quantités sont devenues égales, la communication s'arrête et l'équilibre se trouve établi.

A ce terme, si l'on prend sur la barre métallique une suite de points dont les distances à la source de chaleur forment une progression arithmétique, les excès des températures correspondantes au-dessus de celle de l'air environnant sont en progression géométrique (1).

Pour déterminer cette loi par l'observation, on avait percé dans la barre métallique des trous éloignés les uns des autres de quatre décimètres. Ces trous que l'on remplissait ensuite de mercure, recevaient des thermomètres dont chacun indiquait la température du point auquel il répondait. On avait eu soin d'entretenir un courant d'air dans le lieu de l'expérience, et d'observer d'ailleurs les variations de température qui pouvaient survenir. Telle était la longueur de la barre soumise à l'expérience, que quand cette barre avait atteint l'état d'équilibre, ses points les plus éloignés de la source de chaleur n'en avaient pas éprouvé sensiblement l'influence, ensorte que leur température était à-peu-près la même que celle de l'air environnant. Or en prenant d'une part les différences entre les températures des divers thermomètres et celle de l'air, et

(1) On voit aisément que la première progression est croissante, tandis que la seconde est décroissante.

d'une autre part, les distances entre les mêmes thermomètres et la source de chaleur, on trouvait que les unes et les autres suivaient un rapport conforme à la loi que nous avons indiquée.

176. Le savant auteur de ces expériences en a fait le sujet d'un problème dont il a cherché la solution par la théorie. Il est parti du principe que, quand deux corps de températures différentes sont mis en contact, la portion de chaleur que le plus chaud communique au plus froid, dans un temps très-court, est proportionnelle à leur différence de température. En combinant ce principe avec les diverses quantités qui entrent comme élémens dans la manière dont la chaleur se propage, il est parvenu à une loi représentée par une logarithmique dont les abscisses se rapporteraient aux distances successives entre les différens points de la barre et le foyer commun, et les ordonnées aux excès des températures des mêmes points sur celle de l'air environnant. Les résultats déduits de cette loi, à l'aide du calcul, ont offert une conformité satisfaisante avec ceux que l'observation avait donnés immédiatement.

Influence de certains enduits, pour faire varier le progrès du Refroidissement.

177. Si l'on applique sur la surface d'un corps un enduit d'une nature différente, et qu'ensuite on échauffe ce corps, il est visible que la présence de l'enduit pourra influer plus ou moins sur le progrès du refroidissement que subira le corps dont il s'agit. M. de Rumford a fait, relativement à cet objet, une de ces expériences qui sont d'autant plus intéressantes qu'elles donnent la limite des phénomènes. Ayant pris un vase cylindrique de métal dont la surface était polie et brillante, il le remplit d'eau chaude, et observa le progrès du refroidissement. Il étendit ensuite sur la surface du cylindre une simple couche de vernis qu'il laissa sécher avant de remplir de nouveau le cylindre; et lorsqu'il l'eut fait, il remarqua

une accélération dans le refroidissement. Il ajouta une seconde couche, et quand elle fut sèche, il répéta l'expérience ; le refroidissement alors fut plus rapide que la première fois ; deux nouvelles couches l'accélérèrent encore ; mais cette accélération avait lieu par des différences décroissantes, et lorsqu'on eut ajouté quatre autres couches, ce qui faisait huit en tout, le refoidissement se ralentit, quoiqu'il s'opérât toujours plus promptement que quand la surface du métal était nue (1).

Voici comment on peut expliquer ce phénomène. Le vernis étendu sur la surface du cylindre la rend moins réfléchissante, en affaiblissant son poli et son éclat, et parceque le pouvoir émissif s'accroît à proportion, une partie du calorique que le vase retenait auparavant dans son intérieur s'échappe par le rayonnement, ce qui favorise le progrès du refroidissement. Mais une autre cause contribue à ce refroidissement ; savoir, la perte que le cylindre fait de son calorique, au moyen de sa communication immédiate avec l'air environnant ; et la facilité avec laquelle ce dernier effet s'opère, dépend de la faculté conductrice du calorique. Or comme le vernis, qui participe de la nature des substances résineuses, possède cette qualité dans un degré beaucoup moins marqué que le cylindre, qui est un corps métallique, sa présence, en même temps qu'elle affaiblit la faculté conductrice de celui-ci, diminue sa disposition à céder de son calorique à l'air en contact avec lui, et cela d'autant plus que l'enduit devient plus épais. D'une autre part, la cause qui accélère le refroidissement, savoir, la diminution du poli, reste à-peu-près la même, à mesure que l'on applique de nouvelles couches, tandis que l'effet de la cause retardatrice, savoir, l'affaiblissement de la faculté conductrice du calorique, va toujours en augmentant, ensorte que cet effet, après avoir balancé de plus en plus celui de l'autre cause, finit par devenir prépondérant ; et alors la perte que le cylindre fait par le rayonnement étant plus que com-

(1) Mém. sur la Chaleur, p. 20.

pensée par la circonstance d'une communication moins facile, le refroidissement, après avoir subi une accélération qui devenait toujours moins sensible à chaque expérience, prend une marche rétrograde et se ralentit.

Influence de l'agitation de l'air sur la durée du Refroidissement.

178. M. Leslie, en plaçant le phénomène dans des circonstances différentes, est parvenu à un résultat non moins curieux. Il avait remarqué que le mouvement plus ou moins rapide de l'air environnant avait une influence très-marquée pour faire varier le progrès du refroidissement, et que cette influence dépendait beaucoup des qualités et du poli des surfaces. D'après cette observation, il prit deux globes creux de métal, d'un égal diamètre, dont l'un avait son éclat naturel, et l'autre était couvert d'une couche de noir de fumée. Il les remplit d'eau chaude, et les exposa en plein air à l'action du vent. Il avait choisi le déclin du jour pour faire cette expérience, parcequ'à cet instant la lumière qui nous vient du ciel étant très-faible, la chaleur qui accompagne toujours ce fluide ne peut avoir qu'un effet insensible pour modifier les résultats. La température de l'eau renfermée dans les deux globes, indiquée par des thermomètres que l'on y avait plongés, était, au commencement de l'expérience, plus haute de 20$^{d.}$ que celle de l'atmosphère, et l'on observa avec soin le temps que chaque globe mit à se refroidir, jusqu'à ce que la différence fût diminuée de moitié, ensorte que la température eût baissé de 10$^{d.}$: à un léger vent frais, le temps fut de 44′ pour le globe brillant et de 35′ pour le globe noir ; à une bise assez forte, les temps furent de 23′ et de 20′ $\frac{1}{4}$; à un vent violent, ils furent de 9′ $\frac{1}{2}$ et 9′ (1). Ainsi, d'une part, les temps du refroidissement diminuaient à mesure que l'air était plus agité, et d'une

(1) An Inquiry, etc., p. 271.

autre part leur rapport approchait toujours davantage de sa limite qui était l'unité.

La cause de ce phénomène dépend de la différence entre les facultés conductrices exercées par le métal et par le noir de fumée, jointe à celle qui existe entre les pouvoirs émissifs de l'un et l'autre. Le premier possède la faculté conductrice à un plus haut degré, d'où il suit que, toutes choses égales d'ailleurs, le globe dont la surface est brillante tend à communiquer plus de calorique à l'air par le simple contact, que le globe dont la surface est noircie. Mais l'excès de perte qui en résulte pour le globe brillant, est beaucoup moins sensible dans un air tranquille, parceque l'air est peu disposé par lui-même à recevoir et à propager le calorique ; d'une autre part, le même globe dont le pouvoir émissif est faible, n'abandonne qu'avec lenteur son calorique par le rayonnement, et l'espèce d'économie qui en résulte devient alors prédominante, pour rendre le refroidissement de ce globe plus tardif que celui du globe noir, qui se prête, à la vérité, plus difficilement à la communication par le contact, mais qui, en même temps, exerce avec beaucoup plus d'énergie son pouvoir émissif.

Il en est tout autrement, lorsque l'air étant agité, renouvelle continuellement ses points de contact avec les surfaces des deux globes, surtout si le renouvellement est rapide. Dans ce cas, l'effet de la faculté conductrice du globe brillant subit elle-même une accélération, qui allant toujours en croissant, avec l'agitation de l'air, amène par degrés les vîtesses relatives du refroidissement à un terme très-voisin de l'égalité.

Exposé succinct des Théories de MM. de Rumford et Leslie.

179. Les savans célèbres dont la sagacité et l'adresse dans l'art d'interroger la nature les ont conduits à la découverte des faits qui viennent d'être exposés, en envisagent la théorie, ainsi que nous l'avons déjà annoncé, sous des points de vue tout

tout différens. La chaleur, suivant M. de Rumford, n'est pas le résultat de l'action d'un fluide, mais d'un mouvement vibratoire, qui agite les molécules de tous les corps, et dont la vîtesse est plus ou moins accélérée, suivant les circonstances (1).

Ce mouvement se communique, à distance, par l'intermède de l'éther, c'est-à-dire d'un fluide très-subtil, éminemment élastique, qui pénètre tous les corps, et remplit tout l'espace intermédiaire. Les vibrations qui affectent les molécules des mêmes corps, excitent dans l'éther des ondulations analogues à celles que les corps sonores font naître dans l'air, et qui, susceptibles de se propager dans toutes les directions, produisent les changemens de température qui troublent ou rétablissent l'équilibre thermométrique entre les corps placés dans la sphère de ces ondulations. Si un corps chaud se trouve en présence d'un corps froid, les vibrations plus rapides des molécules du premier, transmises par l'éther à celles du second, accélèrent leurs vibrations, et par un effet contraire, les vibrations plus lentes des molécules du corps froid, auxquelles l'éther sert aussi de véhicule, ralentissent les vibrations des molécules du corps chaud ; et les températures parviennent à l'égalité, lorsque les vibrations de part et d'autre sont devenues isochrones.

L'auteur, pour se prêter au langage reçu, donne le nom de *rayons* aux mouvemens rectilignes à l'aide desquels les vibrations se propagent, et il appelle *rayons calorifiques* les mouvemens dont l'action est accélératrice, et *rayons frigorifiques* ceux qui exercent une action retardatrice. Il suit de là que les mêmes rayons qui sont calorifiques, en allant d'un corps chaud à un corps froid, peuvent devenir frigorifiques, en allant

(1) Parmi les difficultés que M. de Rumford oppose à l'existence d'un fluide calorifique, une des plus concluantes, dans l'opinion de ce célèbre physicien, savoir, celle qui se tire de la grande quantité de chaleur que développe la compression des métaux, a été solidement résolue par Berthollet, Statique chimique, t. I, p. 247 et suiv.

du premier corps à un autre qui serait plus chaud. Les expressions de *calorifique* et de *frigorifique* ne doivent pas être prises dans un sens absolu, mais sont relatives aux différens états des corps qui servent comme de sujets aux mouvemens excités par les vibrations.

Dans la même hypothèse, l'augmentation ou la diminution de volume que subit un corps, à mesure qu'il s'échauffe ou se refroidit, provient de ce que l'espace que parcourent ses molécules, et qui mesure l'étendue des vibrations, s'accroît ou diminue en même temps que la vîtesse, ensorte que le volume qui est déterminé par l'ensemble des espaces parcourus se dilate ou se resserre à proportion.

180. M. Leslie voit au contraire dans les phénomènes des preuves irrécusables de l'existence d'une matière productrice de la chaleur (1), susceptible de dilater les corps, et d'en élever la température. Il n'admet pas la théorie du calorique rayonnant (2), et il pense que c'est l'air qui sert de véhicule à la chaleur, ou de moyen de communication entre les corps qui agissent les uns sur les autres, à raison de leur diversité de température. Les particules d'air voisines d'une surface chaude étant elles-mêmes subitement échauffées, acquièrent une force expansive, dont l'action se propage par une espèce de mouvement ondulatoire. Le même effet se répète à chaque instant, et la masse d'air adjacente au corps chaud, sans être sensiblement déplacée, éprouve seulement une légère fluctuation, à la faveur de laquelle la chaleur est transportée de la même manière que le son. L'auteur explique l'action contraire des surfaces froides, en supposant qu'alors l'air voisin éprouve un mouvement de contraction qui produit un abaissement de température (3).

Pour rendre raison de la variété qui existe entre les corps,

(1) An Inquiry, p. 27.
(2) *Ibid.* p. 43.
(3) *Ibid.* p. 222.

relativement au pouvoir d'émettre la chaleur, M. Leslie, après avoir remarqué qu'il n'existe point de contact immédiat dans la nature, pense que l'intervalle qui sépare la surface de chaque corps de celle de la masse d'air voisine, augmente ou diminue suivant les différentes qualités des corps. Plus cet intervalle est étroit, et plus les espèces de pulsations que subit l'air sont rapides, et acquièrent d'énergie pour opérer la décharge d'un corps chaud. Ainsi, l'on doit concevoir que la distance entre l'air et le verre est moindre qu'entre l'air et un métal poli, et de là vient que la surface du verre agissant sur l'air par une impression plus vive que celle qui provient de la surface d'un métal poli, la décharge se fait aussi plus promptement et avec plus d'énergie, par l'intermède de la surface vitreuse que de la surface métallique (1). Vient-on à rayer celle-ci et à la rendre raboteuse ; ce changement d'état produit entre l'air et les parties saillantes de la même surface un rapprochement plus exact que celui qui avait lieu auparavant, et l'accélération qui en résulte dans le mouvement du fluide environnant en détermine une dans la décharge elle-même (2).

181. Les théories dont nous venons de tracer une esquisse, diffèrent également, soit l'une de l'autre, soit de celle que nous avons adoptée. Chacun des deux auteurs regarde la sienne comme une conséquence immédiate et nécessaire des faits. Mais s'il est vrai de dire que, dans l'état actuel de nos connaissances, rien n'est susceptible d'être ici démontré que les faits eux-mêmes, ce qui est déjà un avantage très-précieux, et si, dans l'ignorance où nous sommes sur la véritable nature et sur la manière d'agir de la chaleur, la préférence doit être pour l'hypothèse qui offre à l'esprit des conceptions plus nettes, et dont il s'accommode plus facilement, nous sommes portés à croire que nous avons bien choisi. Le double rayonnement du calorique par émission, et les échanges réels qui en résultent entre les corps ont quelque chose de plus intelligible que

(1) An Inquiry, p. 247.

(2) *Ibid.* p. 249.

les actions réciproques des rayons calorifiques et frigorifiques, admises par M. de Rumford. Dans le passage à l'état d'équilibre, entre un corps chaud et un corps froid, l'accélération que subissent les molécules de ce dernier corps est produite par la combinaison d'un mouvement plus rapide, savoir, celui que l'éther a reçu du corps chaud, avec un mouvement moins rapide, savoir, celui des molécules du corps froid ; et la diminution de vîtesse qui a lieu dans les vibrations des molécules du corps chaud dépend d'une combinaison dont les élémens sont les mêmes ; excepté que le mouvement moins rapide est celui de l'éther. Pour que l'explication ne laissât rien à désirer, il resterait à concilier ici la diversité des effets avec la similitude des causes.

Dans l'hypothèse du savant physicien anglais, on a peine à se faire une juste idée de la manière dont la chaleur, qui est l'effet d'un fluide réel, se propage à l'aide des vibrations imprimées à un autre fluide, qui est l'air atmosphérique, et peut-être que l'auteur ne s'exprime pas sur ce sujet avec toute la clarté que l'on pourrait desirer. On sait d'ailleurs que partout où il existe un corps plus chaud que l'air, il se forme deux courans de ce fluide, dont l'un reflue vers les parties supérieures du lieu, tandis que l'autre arrive par le bas pour remplacer le premier. Or, tandis que la chaleur se répand de bas en haut à l'aide de ce double mouvement de l'air, elle continue de se propager en ligne droite dans toutes les directions (144), et cette complication qui n'est point favorable à la théorie de M. Leslie, n'a plus rien qui embarrasse, si l'on suppose que la chaleur ascendante soit due à la communication par le contact, et que celle qui se répand dans tous les sens soit l'effet du rayonnement. La propagation de la chaleur dans le vide n'est pas moins difficile à concilier avec la même opinion.

Enfin, lorsque l'on considère que le pouvoir de renvoyer le calorique, sans l'absorber, augmente et diminue en général avec le poli des surfaces, on est comme entraîné par l'idée qu'il en est de l'agent qui produit cet effet, comme de la lumière

qui se réfléchit avec plus d'abondance sur les surfaces unies et brillantes. Les nombreuses analogies qui existent entre deux êtres que plusieurs physiciens regardent même comme identiques, sollicitent pour l'un et l'autre une théorie semblable; et celle de la lumière envisagée, d'après Newton, comme un fluide rayonnant, est si satisfaisante, qu'elle paraît faite en même temps pour servir comme de type à l'explication de cette belle suite de phénomènes que MM. Leslie et de Rumford nous ont dévoilés.

3. Du Calorique spécifique.

182. Nous n'avons aucun moyen pour évaluer la quantité absolue de calorique que renferme un corps; nous ne pouvons même, dans l'état actuel de la Physique, déterminer les rapports entre les quantités absolues de calorique des différens corps, comme nous déterminons ceux qui existent entre les densités de ces corps, quoiqu'il n'y en ait aucun dont la densité absolue nous soit connue. Nous sommes réduits à comparer entre elles les augmentations de calorique reçues par divers corps, dont la température s'est élevée d'un égal nombre de degrés.

183. Pour nous faire une idée des résultats auxquels on parvient, à l'aide de cette comparaison, concevons que l'on mêle ensemble un kilogramme, ou deux livres d'eau à la température de 34 degrés au-dessus de zéro, avec un kilogramme de mercure à la température de zéro; l'eau cédera au mercure une portion de son calorique, jusqu'à ce qu'il y ait équilibre, c'est-à-dire, jusqu'à ce que la température des différentes parties du mélange soit parvenue à l'uniformité; or, à ce terme, un thermomètre plongé dans le mélange, indiquerait une température de 33 degrés. Nous en conclurons que l'eau a perdu la quantité de calorique nécessaire pour élever sa température d'un degré, et que cette même quantité de calorique est capable d'élever de 33 degrés la température du mercure; d'où il suit que la quantité requise pour élever celle-ci d'un degré,

n'est que la 33e partie de celle qui produirait le même effet par rapport à l'eau. Cependant cette dernière conséquence part de la supposition tacite, qui n'est pas tout-à-fait exacte, que la portion de calorique reçue par un corps dont la température monte d'un degré, soit constamment la même, quelque place qu'occupe ce degré sur l'échelle du thermomètre.

184. On a appelé *chaleurs spécifiques*, ces quantités de calorique capables de produire dans des corps égaux en masse, des élévations égales de température, en prenant un degré du thermomètre pour terme de comparaison. Elles dépendent de la capacité de calorique des différens corps, et l'on pourrait dire qu'elles sont, à-peu-près, à l'égard de cette dernière, ce que sont les pesanteurs spécifiques par rapport au poids.

185. Il suit de là que les quantités de calorique dont il s'agit, se composent de la partie qui agit comme calorique sensible, et de celle qui fait la fonction de calorique latent. L'expérience ne sépare pas ces deux parties l'une de l'autre, et ainsi, lorsqu'on définit le calorique spécifique, celui qui est employé à élever la température des corps d'un nombre donné de degrés, on doit sous-entendre, dans la définition, la partie qui n'intervient que pour produire la dilatation, ce dernier effet étant une condition liée à l'élévation de température.

Dans l'exemple que nous avons cité, si l'on représente par l'unité la quantité de calorique capable de faire monter d'un degré la température de l'eau commune, on aura pour la quantité de calorique correspondante, relativement au mercure, 0,0303, et l'on pourra, de cette manière, déterminer en unités et en parties de l'unité les caloriques spécifiques des différens corps rapportés à celui de l'eau, qui servira ici de mesure commune, comme dans la comparaison des densités.

Du Calorimètre.

186. La méthode de Crawford, et de plusieurs autres physiciens, pour déterminer le calorique spécifique relatif à différentes substances, était semblable à celle dont nous avons

parlé (183), en prenant l'eau et le mercure pour objets de comparaison; on avait alors égard au calorique spécifique particulier du vase dont on se servait, et on ramenait le résultat à l'hypothèse où son influence aurait été nulle. Mais il eût fallu encore tenir compte du calorique dérobé par l'air et par les autres corps environnans, et, d'ailleurs, il était souvent difficile de s'assurer si toutes les parties du mélange avaient la même température. Ces inconvéniens disparaissent dans le calorimètre imaginé par Lavoisier et Laplace, et qui réunit au mérite de la précision, celui d'être seul applicable aux cas où les substances exercent une action chimique les unes sur les autres.

187. L'usage de cet instrument est fondé sur une observation que nous nous bornons ici à indiquer, pour y revenir ensuite, lorsqu'elle se présentera à sa véritable place. Elle consiste en ce que, si l'on mêle une masse d'eau chauffée à 60^{d.} de Réaumur, avec une masse égale de glace, la totalité, après la fonte de la glace, se trouvera à la température de zéro, c'est-à-dire, à celle qu'avait la glace avant l'expérience. Dans ce cas, la quantité de calorique qui élevait la température de l'eau liquide, et dont la glace s'est emparée à mesure qu'elle se fondait, est tellement masquée, qu'elle n'a plus d'action sur le thermomètre.

Il résulte de ce qui vient d'être dit, que cette même quantité de calorique nécessaire pour fondre, par exemple, un kilogramme de glace, est la mesure de celle qui serait capable d'élever la température d'un kilogramme d'eau, depuis zéro jusqu'à 60^{d.} Donc si un kilogramme d'une autre substance ne fond qu'un demi-kilogramme de glace, en passant de la température de 60^{d.} à celle de zéro, nous en conclurons que sa chaleur spécifique est à celle de l'eau, comme $\frac{1}{2}$ ou 0,5 est à l'unité. Si elle ne fond qu'un quart de kilogramme, le rapport sera celui de 0,25 à 1; et ainsi l'unité, dans le cas dont il s'agit ici, représentera la quantité de calorique qui, relativement à un kilogramme d'eau, répond à l'intervalle entre zéro et 60^{d.} au-dessus.

188. Cela posé, si l'on divise la quantité de glace qu'un corps quelconque a fondue en se refroidissant jusqu'à zéro, par le produit de la masse du corps rapportée au kilogramme, et du nombre de degrés auquel s'élevait la température primitive, on aura d'abord la quantité de glace qu'un kilogramme du même corps est susceptible de fondre, par un abaissement d'un simple degré de température. Multipliant ensuite le résultat par 60, on aura la quantité de glace qui aurait été fondue, si la température était descendue de 60$^{d.}$ à zéro, ce qui donnera en même temps la chaleur spécifique du corps rapportée à celle de l'eau, prise pour unité.

L'instrument est une espèce de cage, dont l'intérieur est partagé en trois cavités renfermées l'une dans l'autre. La cavité intérieure, ou la plus voisine du centre, est formée d'un grillage de fer sur lequel repose le corps dont on veut connaître la chaleur spécifique; la suivante, ou la cavité moyenne, est destinée à contenir de la glace pilée qui doit environner la cavité intérienre, et être fondue par la chaleur du corps soumis à l'expérience; la troisième, ou la cavité extérieure, reçoit une autre quantité de glace, dont l'effet est d'arrêter la chaleur de l'air et des corps environnans. Au moment de l'expérience, la température de la glace doit être à zéro; et il est bon que celle de l'appartement ne soit pas au-dessous de ce terme. La quantité d'eau produite par la fonte de la glace renfermée dans la cavité moyenne s'écoule, à l'aide d'un robinet, dans un vase situé sons la machine; et l'on est bien sûr que cette ean provient uniquement de la chaleur perdue par le corps soumis à l'expérience, puisque la glace qui est dans la même cavité se trouve garantie par celle qui l'environne, de l'impression de toute chaleur étrangère. L'air et les corps voisins ne peuvent agir que sur la couche de glace située à l'extérieur, et l'eau qui, dans ce cas, est le produit de leur action, coule le long d'un tuyau qui la reçoit séparément.

189. Rendons sensible par un exemple, la manière de sonmettre au calcul le résultat de l'observation. Supposons qu'un corps du poids de 7,$^{kil.}$7, échauffé à 78$^{d.}$ au-dessus de

zéro, ait fondu 1,$^{kil.}$1 de glace, en passant à la température de zéro; si l'on divise 1,1 par le produit de 7,7 et de 78, on aura 0,$^{kil.}$0018 pour la quantité de glace qu'un kilogramme du même corps serait capable de fondre, en se refroidissant d'un degré. Ce résultat multiplié par 60, donnera 0,1080 pour la chaleur spécifique du corps rapportée à celle de l'eau.

Si le corps est lui-même un liquide, on le renfermera dans un vase dont on aura déterminé la chaleur spécifique. On soustraira de la quantité de glace fondue la partie que le vase a dû produire, ce qui donnera la quantité obtenue par le refroidissement du liquide; et du reste l'opération sera la même que pour les corps solides.

4. Des Effets du Calorique, pour produire dans les Corps un changement d'état.

190. Les molécules d'un corps que nous supposons à l'état de solidité, obéissent à la force d'affinité, qui produit leur adhérence mutuelle. Mais cette adhérence est plus ou moins affaiblie par la force élastique du calorique interposé entre les molécules, et qui tend à les écarter les unes des autres. Ainsi elles sont continuellement sollicitées par deux forces contraires, dont les actions se balancent : à ces deux forces il s'en joint une troisième, savoir, la pression des fluides environnans, qui s'oppose à l'effet du calorique pour écarter les molécules. Mais l'influence de cette dernière force n'est sensible que dans certaines circonstances que nous ferons bientôt connaître.

191. Tant que la force élastique du calorique écarte assez peu les molécules du corps, pour que leur distance respective soit beaucoup plus petite que le rayon de leur sphère d'activité sensible (72), la partie de l'affinité qui n'a pas été détruite maintient le corps à l'état de solidité.

Pour mieux concevoir cet effet, imaginons qu'un corps solide reçoive tout-à-coup une certaine quantité de calorique, dont la partie destinée à produire la dilatation soit beaucoup

moindre que celle qui serait nécessaire pour écarter les molécules à la distance mesurée par le rayon de la sphère d'activité sensible. Pendant l'augmentation de volume qui en résultera, l'élasticité du calorique et l'affinité diminueront en même temps, l'une par un effet semblable au débandement d'un ressort, l'autre par l'augmentation de distance. Or, comme nous supposons que le corps ne reçoit aucune nouvelle quantité de calorique, il y aura un terme où la dilatation s'arrêtera, et il est visible qu'à ce terme, la force élastique du calorique et la force d'affinité se trouveront en équilibre. Et puisque la première était prépondérante pendant la dilatation, il en résulte qu'elle a diminué dans un plus grand rapport que l'affinité. Donc si à ce même terme, où le corps est toujours à l'état de solidité, une puissance quelconque agissait pour séparer davantage les molécules, elle éprouverait de la part de l'affinité une résistance qui ne serait pas balancée par l'élasticité du calorique, puisque celle-ci perdrait plus que l'affinité. Il suit de là qu'un corps doit rester dans l'état de solidité, tant que l'accumulation du calorique qui le dilate n'excède pas un certain degré. Il faut même que le décroissement de la force du calorique suive dans ce cas une loi beaucoup plus rapide que celui de la force d'affinité, puisqu'on ne peut ordinairement vaincre l'adhérence mutuelle des molécules d'un corps solide, qu'en employant un effort plus ou moins considérable.

Ainsi, à mesure qu'un corps solide reçoit des quantités additionnelles de calorique, il passe par divers degrés de dilatation, dont chacun est de même relatif à un équilibre que l'on ne peut rompre, jusqu'à opérer la division de ce corps, que par une force dirimante supérieure à la tendance de l'affinité, pour s'opposer à l'écartement des molécules (1).

(1) On voit ici dans quel sens il faut entendre ce qui a été dit par Lavoisier, qu'un corps dilaté par la force du calorique reste à l'état de solidité, tant que l'affinité est victorieuse.

Conversion des Solides en Liquides.

192. Ce que nous venons de dire suppose que les accroissemens de calorique reçus par un corps solide n'excèdent pas une certaine limite. Mais lorsque ce fluide s'est accumulé au point de lutter avec assez d'avantage contre la force d'affinité, pour que les molécules du corps puissent se mouvoir librement en tout sens, et céder à la plus légère pression, ce corps devient liquide.

Pour mieux concevoir ce passage à l'état de liquidité, il faut observer que les molécules des corps ont certaines faces, par lesquelles elles s'attirent de préférence, lorsque rien ne s'y oppose, et que l'on appelle *faces* ou *latus de plus grande affinité*. Tant qu'elles constituent un corps solide, elles tournent ces mêmes faces les unes vers les autres, et la force de l'adhérence qui les lie entre elles tient en partie à cette disposition respective. Or l'action du calorique parvenue à un certain degré d'accroissement et d'énergie, dérange l'assortiment dont il s'agit, et alors les molécules se présentant les unes aux autres sous des positions moins favorables à l'affinité, il en résulte dans l'action de cette force une diminution qui contribue, avec l'élasticité du calorique, à cette grande mobilité dont les molécules deviennent susceptibles lorsque leur ensemble prend la forme d'un liquide.

193. A ce terme il se présente un phénomène remarquable, qui consiste en ce que l'action du calorique sensible s'arrête tout-à-coup, pour ne laisser subsister que celle du calorique latent ; ainsi les nouvelles quantités de calorique qui surviennent depuis l'instant où a commencé la liquéfaction, n'agissent que pour en favoriser le progrès, et sont nulles pour élever la température du corps qui les reçoit, ensorte qu'un thermomètre placé, par exemple, dans la glace qui commence à se résoudre en eau, reste stationnaire au degré de zéro, jusqu'à ce que cette glace soit entièrement fondue.

194. Ce repos du thermomètre au milieu d'une affluence

continuelle de calorique, avait frappé depuis long-temps les observateurs, et c'était ce cas particulier, joint à un autre dont nous parlerons bientôt, qui avait suggéré l'idée de *chaleur latente*, qui a reçu une grande extension depuis que les phénomènes ont été mieux analysés.

Conversion des Liquides en Fluides élastiques.

195. Continuons de prendre l'eau pour exemple, parceque les circonstances de la nouvelle transformation qui nous reste à décrire, se manifestent à son égard d'une manière très-marquée. Quelle que soit la température de ce liquide, la force élastique du calorique interposé entre ses molécules l'emporte tellement sur leur affinité réciproque, qu'elle tend à les écarter de plus en plus, et que la portion du même fluide qui agit sur les molécules situées près de la surface, fait effort pour les en séparer. Cet effort éprouve une résistance de la part de l'air environnant, qui exerce sa pression sur la surface de l'eau. Mais la résistance dont il s'agit ne fait en quelque sorte que gêner la force élastique du calorique, et en ralentir les effets. Car au milieu des petites agitations qui s'excitent dans l'air et dans l'eau elle-même, il arrive qu'un certain nombre de molécules aqueuses rencontrant les positions qui correspondent aux interstices dont l'air est criblé, s'y introduisent en se détachant de la surface de l'eau. Elles sont à l'instant suivies par d'autres, ensorte que toutes ces molécules aqueuses qui ont trouvé accès au milieu de l'air, y étant maintenues à de certaines distances les unes des autres par celles du calorique distribuées entre elles, prennent elles-mêmes la forme d'un fluide élastique. On dit alors de ces molécules, qu'elles sont converties en *vapeur*, et ce passage à un nouvel état porte le nom d'*évaporation*. Nous reviendrons dans la suite, avec plus de détail, sur les effets de la présence de l'air dans ce phénomène, et sur diverses autres circonstances qui nous serviront à en développer la théorie.

A mesure que l'eau reçoit de nouvelles quantités de calorique, l'évaporation devient plus abondante, et lorsque l'élévation de la température a fait croître la force élastique du calorique jusqu'à un certain terme, l'obstacle que l'air environnant opposait à la dilatation de l'eau étant entièrement vaincu, l'action du calorique, pour produire l'évaporation, sous la pression actuelle de l'atmosphère, est parvenue à son *maximum*.

196. Ici, le phénomène qui avait déjà eu lieu dans la conversion de la glace en eau liquide, se reproduit avec les mêmes circonstances, c'est-à-dire que pendant tout le temps que l'eau continue de passer à l'état élastique, les nouvelles quantités de calorique qui arrivent, n'exercent leur action que pour hâter le progrès de l'évaporation, et passent à l'état de calorique latent, sans avoir aucune influence sur la température; de là vient qu'un thermomètre placé, soit dans le liquide qui fournit la vapeur, soit dans la vapeur elle-même, marque constamment $80^{d.}$ de Réaumur, ou $100^{d.}$ du thermomètre centigrade, sous la pression moyenne de l'atmosphère.

197. Le moment où l'évaporation arrive à ce degré qui fixe la température, s'annonce par l'ébullition du liquide, et le signe avant-coureur de celle-ci est la naissance d'une multitude de petites bulles qui partent du fond du vase, et se succèdent rapidement à travers le liquide. D'abord elles crèvent à une certaine hauteur, en produisant une espèce de frémissement connu de tout le monde; les suivantes s'élèvent davantage avant de disparaître; d'autres enfin arrivent à la surface, et alors de nouvelles bulles beaucoup plus volumineuses que les premières, se forment dans toute la masse du liquide, où elles excitent une grande agitation. Suivant les observations du célèbre Deluc, toutes ces bulles sont produites par le dégagement des particules d'air naturellement renfermées dans le liquide (1). On a désigné par le nom particulier de *vaporisation* ce dégagement rapide de vapeur qui a lieu au moment

(1) Introduction à la Physique terrestre, t. I, p. 426.

de l'ébullition, et comme la pression de l'atmosphère est totalement vaincue dans ce cas, on a étendu le même nom à toute formation de vapeur qui s'opère dans une espace vide d'air.

Retour à l'Etat de Liquidité et à celui de Solidité.

198. Concevons que l'eau, en suivant une marche rétrograde à l'égard de celle que nous venons de considérer, retourne de l'état élastique, à celui de liquidité, et de ce dernier à celui de solidité. Pendant qu'elle redeviendra liquide, le calorique qu'elle avait absorbé, en s'évaporant, et qu'elle tenait comme masqué, sous la forme de calorique latent, reparaîtra tout entier sous celle de calorique sensible, et se communiquera aux corps environnans, ensorte qu'un thermomètre plongé dans cette eau restera encore fixe à 80$^{d.}$, en supposant que la pression soit la même.

Pour que l'eau, en partant de ce terme, retourne à l'état de solidité, il faudra d'abord qu'elle perde, par le refroidissement, tous les accroissemens de calorique qui avaient fait varier sa température et son volume, depuis l'instant du passage à l'état de liquidité. Pendant la congélation qui suivra, toute la quantité de calorique dont l'eau s'était emparée, en sortant du même état, et qui était restée sans effet sur le thermomètre, se développera et passera dans les corps environnans, de manière qu'un thermomètre plongé dans cette eau sera encore stationnaire au degré de zéro.

199. Nous avons déjà cité une expérience (187), dans laquelle, ayant mêlé un kilogramme, ou deux livres, de glace avec un kilogramme d'eau à 60$^{d.}$, on a deux kilogrammes d'eau à zéro, pour résultat du mélange, c'est-à-dire que la glace, en se fondant, absorbe et rend nulle pour le thermomètre une quantité de calorique mesurée par 60$^{d.}$, qu'elle enlève à l'eau

chaude en contact avec elle. Maintenant, si l'on suppose que l'eau repasse à l'état de glace, elle remettra en activité une égale quantité de calorique, qui se répandra dans l'appareil, et de proche en proche dans les corps voisins.

200. Ce que nous avons dit de l'eau, prise pour exemple, s'applique également à tous les autres corps. Leur passage à un nouvel état détermine l'absorption d'une quantité de calorique qui perd son action sur le thermomètre, en allant de la solidité à la liquidité et de celle-ci à la fluidité élastique ; et si le passage se fait en sens contraire, il détermine le dégagement de la même quantité de calorique que le corps avait absorbée en sortant de l'état auquel il arrive. En général, toutes les variations produites par l'effet du calorique, pendant une succession d'états qui a lieu dans le même sens, se reproduisent dans un ordre inverse, lorsque les états eux-mêmes se succèdent en sens opposé.

La même inversion se retrouve, proportion gardée, dans toute la gradation de nuances qu'un corps parcourt, en allant d'un état à l'autre ; toutes les petites quantités de calorique qui étaient devenues latentes, entre deux nuances voisines, redeviennent sensibles ou réciproquement, selon que la limite dont le corps se rapproche, en passant par ces nuances, est située d'un côté ou de l'autre.

Diversité d'opinions sur le Calorique latent.

201. On a envisagé le calorique latent sous deux points de vue différens. Suivant plusieurs physiciens, il se fixe dans le corps qui change d'état ou qui se dilate, et cet effet est analogue à ce qui se passe dans la cristallisation d'un sel, qui s'approprie une portion du dissolvant, ensorte que celle-ci, engagée dans le cristal, perd toutes ses apparences, et n'a plus rien de ce qui caractérise une substance humide. L'autre opinion est relative à l'idée que les physiciens qui l'ont émise avaient conçue de la capacité de calorique. Ils faisaient dépendre celle-ci d'une certaine force que les corps exerçaient

pour contenir et captiver en quelque sorte le calorique engagé dans leur intérieur. Cette force avait d'autant plus d'énergie que la capacité de calorique était plus considérable, et cette capacité se trouvait effectivement augmentée dans un corps qui avait passé de l'état de solide à celui de liquide, ou de ce dernier à l'état de gaz ou de vapeur. Il en résultait que l'eau liquide, par exemple, exerçant une plus grande force sur chaque molécule de calorique, pour la coërcer, celle-ci perdait de sa tension, ensorte que la glace, en se fondant, avait besoin de recevoir un surcroît de calorique additionnel, pour que la tension totale du fluide fût encore la même, et qu'il n'y eût aucune variation dans la température. De là venait, dans l'opinion dont il s'agit, que la glace qui se résolvait en eau, absorbait une quantité de calorique mesurée par 60$^{d.}$, et qui formait comme le complément de celle qu'exigeait le nouvel état du corps.

La même considération s'appliquait à un corps qui se dilate, en conservant sa température. Ainsi, une masse d'air que l'on mettait en liberté de s'étendre dans un plus grand espace, enlevait aux corps environnans le surcroît de calorique destiné à compenser la perte que la quantité primitive faisait de sa tension, à mesure que l'air augmentait de volume.

202. La manière de voir que nous venons d'exposer ne diffère pas essentiellement de celle que nous avons adoptée. Mais cette dernière présente les phénomènes sous un point de vue plus net, en distinguant deux actions du calorique, dont l'une, par cela seul qu'elle produit, tantôt un changement d'état, et tantôt une dilatation, perd son influence sur le thermomètre, ensorte que l'autre action d'où dépend la température ne peut rester la même, qu'autant que la première reçoit d'ailleurs à proportion de ce qu'elle consomme.

Différences entre les Fluides élastiques.

203. Les fluides élastiques, que les physiciens modernes appellent aussi simplement *fluides*, ont été distribués en deux ordres ; l'un renferme ceux qui conservent leur élasticité, sous

sous les plus fortes pressions et aux degrés les plus bas de refroidissement que nous puissions leur faire subir, aucun de ces deux moyens, dans l'état actuel des choses, n'étant capable de rapprocher leurs molécnles à une distance moindre que le rayon de leur sphère d'affinité sensible. Ces mêmes molécules, ou plutôt celles du calorique interposées entre elles, sont comme autant de petits ressorts qui se bandent, lorsqu'une cause quelconque agit pour resserrer une masse de l'un de ces fluides dans un espace plus étroit que celui qu'elle occupait, et qui ensuite se rétablissent, lorsque la même cause cessant d'avoir lieu, la masse du fluide reprend, en se dilatant, la place qu'elle avait cédée. On a donné à ces fluides le nom de *fluides aériformes*, emprunté de celui de l'air atmosphérique, qui semble tenir le premier rang parmi eux. On les a nommés aussi *fluides élastiques permanens ou gaz*. Dans l'autre ordre sont compris les fluides élastiques qui perdent plus ou moins facilement leur état, par la compression ou par le refroidissement ; de ce nombre sont ceux qui proviennent de l'eau commune, de l'alkohol, de l'éther, etc., par l'intermède de la chaleur, et que l'on a appelées *vapeurs* ou *fluides élastiques non permanens*.

Considérations sur les Résultats qui précèdent.

204. Il n'est peut-être pas indifférent de remarquer, comment la théorie des actions qu'exerce le calorique, pour changer l'état d'un corps, met en regard des phénomènes que le commun des hommes ne rapproche pas, et que l'on a même distingués par le langage : telle est, par exemple, d'une part, la conversion du fer solide en fer liquide, par l'action du feu, ou son retonr au premier état, par le refroidissement ; et d'une autre part, la fonte de l'eau glacée, ou le passage de l'eau liquide à l'état de glace. Ces phénomènes ne diffèrent que par les circonstances et par le plus ou moins de calorique employé à les produire ; ensorte qu'il est vrai de dire que la liquéfaction du fer, par la chaleur, est le *dégel* du fer, et que son retour

à l'état de consistance, par le refroidissement, est la *congélation* du fer. Le physicien s'accoutume ainsi à considérer sous un même aspect, et à rapprocher dans ses conceptions, des effets, dont l'un est l'image fidèle de l'autre.

205. Les résultats de l'action du calorique pour balancer l'affinité des molécules d'un corps solide, au point d'amener d'abord le passage à l'état de liquide, et d'entraîner enfin avec lui les molécules sous la forme de vapeurs, sont limités par l'observation à un certain nombre de substances. Mais ils ont reçu de la théorie une généralité à laquelle on ne pouvait se refuser, et on en a tiré la conséquence, que tous les corps de la nature sont susceptibles par eux-mêmes des trois états dont nous venons de parler, et qu'une grande partie de ces corps ne paraissent fixes, que faute de pouvoir acquérir ou perdre la quantité de calorique suffisante pour déterminer lenr passage d'un état à l'antre. La plus grande différence qui puisse exister entre la température des climats où l'on ressent les plus vives ardeurs du soleil, et de ceux que la grande obliquité de ses rayons laisse exposés au froid le plus rigoureux, ne produit guères d'effets sensibles, que par rapport à l'eau, qui conserve constamment sa liquidité dans les régions voisines de l'équateur, et ne la perd que par intervalles dans nos climats, tandis que vers le pôle, d'énormes glaçons ne peuvent échapper à l'action constante de la cause qui les a durcis, qu'en venant, comme des montagnes flottantes, se fondre dans les mers des régions tempérées.

206. La puissance de l'art a surpassé de beaucoup celle de la nature. Nous verrons, en parlant de l'eau, jusqu'à quel point on a ponssé l'action d'un froid artificiel, au-delà de celui qui répond à la congélation de ce liquide. Mais c'est par les effets de la chalenr, pour recnler la limite opposée, que la plupart des passages à un nouvel état ont été déterminés. En concentrant l'action des rayons solaires dans le foyer d'un verre ardent, on a réussi à fondre des corps qui avaient résisté jusqu'alors à toute l'activité du feu de nos fourneaux, et à volatiliser l'or et différentes substances métalliques.

Il semblait que ce fût le dernier effort de l'art pour augmenter l'intensité de l'action du calorique. La chimie moderne a été encore plus loin, en substituant au feu céleste un feu ordinaire, auquel on fournit l'air vital, son aliment, dans l'état de pureté; au moyen de la flamme, animée par un courant de ce gaz, on a volatilisé les métaux plus promptement et plus facilement qu'au foyer de la lentille; et quelques-uns, tels que le cuivre, qui s'étaient seulement oxidés par ce dernier moyen, ont été volatilisés en entier. Plusieurs pierres très-réfractaires ont été fondues, d'autres ont subi seulement un premier degré de ramollissement, et de ce nombre, sont le quartz pur et une partie des pierres gemmes.

207. Ces limites sont cependant encore très-éloignées de celles qu'il faudrait pouvoir atteindre, pour que les trois degrés de solidité, de liquidité et de fluidité pussent être réalisés à l'égard de chaque substance, par la simple absence du calorique ou par son accumulation. Mais lorsque l'affinité joint à ces moyens l'énergie de son action, elle détermine des changemens d'état, relativement à des êtres qui n'en seraient pas susceptibles, s'ils restaient isolés; soit qu'elle enchaîne un fluide élastique dans une combinaison dont le terme est l'état de solidité, soit qu'elle associe un solide à un fluide élastique qui l'entraîne avec lui, sous une forme semblable. Ainsi l'oxigène dont aucun degré de froid ne pourrait rapprocher assez les molécules, meme pour les faire passer à la liquidité, se fixe en s'unissant au fer et à divers métaux, et le charbon que le calorique seul n'amènerait pas non plus à l'état de liquide, acquiert la propriété élastique, en se combinant avec l'oxigène, pour produire l'acide carbonique.

Explications de divers Phénomènes particuliers.

Parmi les phénomènes qui ont fourni au développement de la théorie précédente, il en est un, savoir, le passage des

corps de l'état de liquidité à celui d'élasticité ou réciproquement, qui est susceptible d'etre considéré sous de nouveaux rapports, que nous avons omis jusqu'ici de faire connaître, pour ne point rompre le fil des idées.

208. Nous avons vu que l'effort du calorique, pour convertir un liquide en fluide élastique, est balancé en partie par la pression de l'atmosphère, ensorte que le moment où le liquide entre en pleine ébullition, et où la température devient constante, n'a lieu que quand l'obstacle qui résulte de cette pression est entièrement vaincu (195). Il suit de là que si, après avoir placé sous un récipient le vase qui renferme le liquide, on diminue la pression, en supprimant une partie de l'air, au moyen de la machine pneumatique, l'ébullition du liquide et l'uniformité de température répondront à un degré plus bas que quand le liquide était exposé à l'air libre. Ce degré s'abaissera de plus en plus, à mesure que le vide approchera davantage d'etre parfait; les expériences du célèbre Prony ont prouvé qu'on peut le pousser assez loin, pour déterminer le passage de l'eau au *maximum* de l'état élastique, par une température qui s'élève à peine au-dessus de zéro; tandis que ce liquide a besoin, comme nous l'avons dit (196), d'une chaleur mesurée par 80$^{d.}$ de Réaumur, pour arriver au même état, sous la pression ordinaire de l'atmosphère. Par une suite du même principe, si on s'élève sur une montagne, avec un vase rempli d'eau tiède, la colonne d'air devenant plus courte, à mesure que l'on arrive à une plus grande hauteur, la diminution de pression qui en résulte peut être assez sensible, pour donner lieu à l'ébullition du liquide.

209. Si l'on suppose, au contraire, que la pression moyenne de l'atmosphère soit remplacée par une autre pression plus puissante, les nouvelles quantités de calorique qui s'introduiront dans l'eau déjà parvenue à la température de 80$^{d.}$, continueront de l'échauffer, jusqu'à ce que la force élastique du calorique devienne capable de surmonter l'obstacle qui lui résiste, et à ce terme, qui sera dans le cas présent celui de l'ébullition, la température se fixera au degré qu'elle aura atteint,

pendant son élévation au-dessus de celui qui aurait eu lieu sous la pression ordinaire.

210. Par une suite des mêmes circonstances, lorsque l'eau qui s'évapore est renfermée dans un vase qui ne laisse aucune issue à la vapeur, celle-ci s'accumule dans la partie supérieure du vase, et exerce sur l'eau encore liquide une pression qui étant parvenue à un certain terme, s'oppose à l'effet de la force élastique du calorique pour amener le point de l'ébullition, ensorte que le calorique s'accumule à son tour, soit dans le liquide, soit dans la vapeur elle-même, et que la température continue de monter bien au-dessus de 80$^{d.}$.

211. C'est d'après ce principe qu'était construite la machine si connue sous le nom de *marmite de Papin*, et dont ce physicien a publié une description à Paris, en 1682, sous le nom de *machine propre à amollir les os, pour en faire du bouillon.* Le couvercle de cette machine était arrêté par une forte vis de pression, et l'on prenait toutes les précautions nécessaires pour empêcher la vapeur de s'échapper. La chaleur qui se produit dans ce cas, est si forte, que l'eau devient capable non-seulement de dissoudre des os, et d'en extraire la gélatine, mais encore de fondre le plomb et même le cuivre, ainsi que l'ont observé différens physiciens.

212. Pour que l'eau une fois parvenue au terme de l'ébullition se maintienne à la même température, il faut qu'elle reçoive sans cesse du dehors une nouvelle quantité de calorique égale à celle qui est devenue latente. Si cet accroissement de calorique vient à s'arrêter, l'évaporation continuera, mais par des degrés décroissans, et comme alors la vapeur emprunte à l'eau même située au-dessous d'elle le calorique nécessaire à sa formation, cette circonstance détermine, dans le liquide un abaissement continuel de température.

Le même effet a lieu, proportion gardée, dans toutes les masses d'eau soumises à l'évaporation par la température ordinaire de l'atmosphère. La formation de la vapeur produit dans l'eau d'où s'échappe cette vapeur, un refroidissement plus ou moins marqué, dont se ressentent les corps environnans, aux-

quels le liquide enlève une partie de leur calorique, pour réparer ses pertes.

Ce qui vient d'être dit peut servir à rendre raison de plusieurs effets très-connus.

213. Par exemple, si l'on enveloppe d'un linge la boule d'un thermomètre, et qu'on humecte ce linge avec de l'éther, en agitant le thermomètre dans l'air, pour renouveler les points de communication avec ce fluide, et faciliter l'évaporation, on parviendra à faire descendre très-sensiblement la liqueur du thermomètre; de là encore la sensation de froid que l'on éprouve pendant l'évaporation d'une goutte de liqueur spiritueuse que l'on a versée sur la main. Il sera de même facile d'expliquer un fait qui présente une espèce de paradoxe, et qui a lieu, lorsqu'aux premiers rayons du soleil, c'est-à-dire à la renaissance de la chaleur, le thermomètre baisse pendant un instant. Cet effet provient de ce que la petite quantité de rosée dont le thermomètre est humecté, venant à s'évaporer par l'action du soleil, le thermomètre lui cède une portion de son calorique.

214. C'est sur les mêmes principes qu'est fondé un moyen très-simple, que l'on pratique dans plusieurs pays, pour se procurer de l'eau fraîche pendant l'été, en faisant contribuer à l'abaissement de la température du liquide la chaleur même qui règne alors dans l'atmosphère. On verse l'eau dans des vases de terre à embouchure étroite, dont la matière a été tellement préparée, qu'elle reste très-poreuse après avoir subi une légère cuisson. On place ces vases, autant qu'il est possible, dans un lieu où l'air soit renouvelé sans cesse. L'eau qui suinte à travers le tissu lâche du vase, s'évapore en arrivant à la surface; de nouvelle eau lui succède, et la quantité de calorique qui s'échappe continuellement, à la faveur de l'évaporation, n'étant pas compensée par celle qui arrive du dehors, l'eau parvient, en assez peu de temps, à un degré de refroidissement, qui en fait une boisson agréable (1). Ce procédé

(1) Deluc, Introduction à la Physique terrestre, t. I, p. 382.

est employé à Paris, avec succès, par M. Fourmi, propriétaire d'une manufacture de vases qui portent le nom d'*hygiocerames*.

5. Des Effets de la compression et de la dilatation sur le Calorique renfermé dans les corps.

215. Nous avons fixé jusqu'ici notre attention sur les circonstances dans lesquelles les variations que subit le volume d'un corps sont dues à l'accumulation du calorique dans l'intérieur de ce corps ou à son dégagement, ensorte que nous avions à considérer deux effets simultanés, savoir, la dilatation et l'élévation de température d'une part, et de l'autre la contraction et le refroidissement; et la théorie de ces effets nous a conduits à décomposer, par la pensée, l'action du calorique en deux actions distinctes, ou, si l'on veut, à soudiviser le calorique lui-même en deux parties destinées à produire les effets dont il s'agit. Nous allons maintenant développer des phénomènes bornés à certains corps, et à certaines circonstances particulières, dans lesquelles la partie du calorique qui produit la dilatation, ou celle dont le dégagement occasionne la contraction, agit seule, ensorte qu'à la fin de l'un ou l'autre effet, la température se retrouve la même qu'auparavant. Examinons d'abord ce qui arrive, dans ces sortes de cas, à un fluide élastique, tel que l'air.

216. Supposons un thermomètre placé sous un récipient, au milieu d'une masse de ce fluide, ensorte que l'appareil et tous les corps environnans soient en équilibre de température avec elle. Si on dilate l'air, le thermomètre baisse à l'instant; si, au contraire, on comprime l'air, on voit le thermomètre monter. Dans le premier cas, l'air ayant besoin d'employer à sa dilatation une quantité de calorique qui, par là même, deviendra latente, dérobe subitement au thermomètre et à l'appareil une portion de celui qu'ils contiennent. Mais bientôt après le calorique qui arrive des corps environnans, où il n'est

plus en équilibre avec celui de l'air renfermé sous le récipient, ramène et ce dernier fluide et le thermomètre à la température primitive, de manière que la liqueur de l'instrument, qui était d'abord descendue tout-à-coup, remonte au même degré. Dans le second cas, l'air développe, pendant la compression, une partie de son calorique latent, égale à celle dont il aurait ensuite besoin, pour reprendre, par la dilatation, son volume primitif, et il cède ce calorique au thermomètre et à l'appareil. Mais après la compression, le calorique qui avait été abandonné par l'air, se communiquant de proche en proche aux corps environnans, l'uniformité de température se rétablit, et la liqueur du thermomètre descend à son premier niveau.

217. Ordinairement les variations du thermomètre qui ont lieu dans l'un et l'autre cas, n'excèdent guères un ou deux degrés. Mais il est facile de concevoir que le changement qu'éprouve l'air répond à une différence de température qui n'est pas à beaucoup près représentée par le mouvement de la liqueur du thermomètre. Car cet instrument ne ferait ici la fonction de véritable thermomètre, qu'autant que sa masse serait comme infiniment petite, par rapport à celle de l'air (141), et que ce fluide ne pourrait d'ailleurs ni rien dérober aux corps environnans de leur calorique, ni rien leur céder de celui qui se serait dégagé de son intérieur. Mais la masse du thermomètre est au contraire beaucoup plus considérable que celle de l'air, et il en résulte que la température de cet air baisse moins, pendant la dilatation, que s'il n'avait aucune communication avec le thermomètre, parceque cet instrument lui restitue une portion du calorique qui de sensible est devenu latent; d'une autre part, la température de l'air s'élève moins, pendant la compression, que dans le cas où cet air serait indépendant du thermomètre, parceque celui-ci lui enlève une portion du calorique qui se dégage pour devenir sensible de latent qu'il était. Ainsi le thermomètre fait disparaître une partie du changement de température qu'il devrait indiquer tout entier; et l'indication pèche encore, en ce que le calorique cédé par

l'appareil à l'air qui se dilate, exerce sur cet instrument une influence étrangère, qui s'oppose à l'abaissement de la liqueur, ou en ce que l'influence du calorique enlevé par le même appareil à l'air comprimé, est perdue pour le thermomètre dont la liqueur reste, par cela seul, au-dessous de sa véritable hauteur.

Résultat de Newton, qui s'applique à la théorie précédente.

Une vue de Newton, relative aux effets de la compression des fluides élastiques, va nous servir à répandre un nouveau jour sur les circonstances qui accompagnent les phénomènes dont nous venons de parler.

218. Des recherches dont nous parlerons dans la suite ont démontré que pour une même température, le ressort d'une quantité déterminée d'air ou de tout autre fluide élastique, est, à très-peu-près, en raison inverse du volume; c'est-à-dire, que si, en comprimant l'air par exemple, on le réduit à la moitié de son volume, l'élasticité de ce fluide, ou la pression qu'il sera capable d'exercer sur une surface donnée, se trouvera doublée.

219. Concevons un volume d'air renfermé dans un espace cubique, et supposons qu'on le resserre dans un nouveau cube dont le côté soit la moitié de celui du premier. Comme les molécules de l'air sont censées avoir de part et d'autre le même arrangement symétrique, il est visible que, dans le second cube, dont les faces ont une étendue quatre fois moindre que celles du premier, il y aura quatre fois plus de molécules d'air distribuées sur une partie déterminée de chaque face, et parconséquent quatre fois plus de ressorts qui agiront sur cette même partie; et puisque la pression, qui est en raison inverse du volume, est devenue huit fois plus grande, la force de chaque ressort sera doublée. D'une autre part, le côté du second cube étant la moitié de celui du premier cube, ou

ce qui revient au même, la longueur de chaque rangée de molécules d'air étant devenue une fois plus petite, la distance entre deux molécules voisines sera diminuée de moitié, d'où il suit que les tensions des ressorts, dans les deux cubes, sont en raison inverse des distances entre les molécules de l'air. Tel est, en substance, le résultat de Newton (1).

220. Or nous savons que l'élasticité de l'air dépend du calorique, ensorte que nous pouvons considérer le calorique comme formant de petits ressorts bandés entre les molécules de l'air. Imaginons maintenant que les tensions de ces ressorts soient proportionnelles à la densité du calorique dont ils sont composés, ou au nombre de molécules de ce fluide qui occupent un espace donné. Si tout le calorique renfermé dans le premier cube avait passé dans le second, sa densité et parconséquent la force de chaque ressort, ou celle que chaque molécule exerce sur les voisines, serait devenue huit fois plus grande; mais elle est seulement doublée : donc dans cette hypothèse, la compression aurait fait sortir de l'air les $\frac{6}{8}$ ou les $\frac{3}{4}$ du calorique qui s'y trouvait renfermé. A la vérité nous ignorons si la densité du calorique varie dans le même rapport que la force de ressort, quoique la vraisemblance soit en faveur de l'hypothèse où cela aurait lieu; mais il résulte du moins de ce que nous venons de dire, que dans un fluide élastique condensé, la quantité absolue de calorique est beaucoup moindre qu'avant la condensation, quoique le fluide renferme plus de calorique, à égalité de volume, ce qui s'accorde avec l'expérience.

221. Si l'on suppose, au contraire, que l'air se répande par la dilatation dans un nouveau cube dont le côté soit double du premier ; on prouvera par un raisonnement semblable, qu'il y aura quatre fois moins de molécules d'air, et parconséquent quatre fois moins de ressorts composés de calorique, qui répondront à une partie déterminée de la surface du second cube,

(1) *Philosophiæ naturalis Princip. mathem., sect. V, prop. 23, theorema 17.*

et puisque la pression est devenue huit fois plus petite, la force de chaque ressort se trouvera diminuée de moitié; en même temps la distance entre les molécules voisines sera doublée, c'est-à dire, que les tensions des ressorts seront encore ici en raison inverse des distances entre les molécnles de l'air.

Si les tensions des ressorts étaient proportionnelles aux densités du calorique, il est facile de voir que l'air dilaté dans un volume huit fois plus grand devrait renfermer quatre fois plus de calorique, pour que la force de chaque ressort fût la moitié de ce qu'elle était d'abord, d'où il suit que la quantité de calorique enlevée aux corps environnans serait triple de la quantité primitive. Mais cette détermination n'étant encore qu'hypothétique, quoique peut-être elle ne s'éloigne pas beaucoup de la vérité, tout ce que nous pouvons conclure certainement de ce qui précède, c'est qu'un fluide élastique dilaté renferme une quantité absolue de calorique beaucoup plus grande qu'avant la dilatation, quoiqu'à volume égal la quantité y soit plus petite.

Explication de divers Phénomènes.

222. Les physiciens font depnis long-temps une expérience à l'aide de laquelle on peut suivre, pour ainsi dire de l'œil, la marche dn calorique dans la dilatation de l'air. Si après avoir comprimé ce fluide dans un récipient de verre qui renferme un baromètre, on onvre le robinet destiné pour donner une issue à l'air, le mercure du baromètre descend rapidement; et si alors on ferme tout-à-coup le robinet, le mercure remonte lentement jnsqu'à une certaine hauteur, où il reste stationnaire.

Ces effets proviennent de ce qu'au moment où l'on ouvre le robinet, l'air ne pouvant dérober instantanément à l'appareil et aux corps environnans la quantité de calorique nécessaire à sa dilatation, s'enlève à lui-même une partie de son calorique sensible; et comme sa température s'abaisse d'autant, la diminution de ressort qui en résulte occasionne un excès d'abaisse-

ment dans la colonne du baromètre. Mais dès que le robinet est fermé, l'air, en revenant à sa première température, recouvre une partie de son ressort, ce qui détermine la colonne de mercure à s'élever jusqu'à ce qu'il y ait éqnilibre (1).

223. On s'est servi pendant long-temps, dans les mines de Schemnitz en Hongrie, d'une machine appelée *à eau et à air*, faisant l'office d'une pompe, dans laquelle on substituait au jeu dn piston le ressort d'une masse d'air comprimée par une colonne d'eau de quarante à cinquante mètres de hauteur. Lorsqu'on voulait amuser ceux qui venaient visiter les mines, on ouvrait un robinet qui donnait une issue à l'air comprimé, et l'on présentait un bonnet de mineur à l'orifice du robinet : au même instant la surface de ce bonnet était couverte d'une espèce de glace très-blanche, très-compacte et semblable à de la grêle (2). Dans ce cas, l'air qui s'échappait rapidement, en entraînant avec lui la vapeur aqueuse dont il s'était saturé dans l'intérieur de la pompe, éprouvait un haut degré de raréfaction. Devenu pour ainsi dire avide de calorique aux dépens de tout ce qui pouvait lui en fournir, et particulièrement de la vapeur en contact avec ses molécules, il en dérobait à cette vapeur une quantité assez considérable pour lui faire franchir tout-d'un-coup la distance entre l'état de flnidité élastique et celui de solidité, ensorte qu'elle se déposait en glace sur le premier corps que l'air rencontrait dans l'espace environnant.

224. Un autre fait qui est très-curieux, prouve combien est considérable la quantité de calorique dont l'air se désaisit lorsque son volume se resserre. On place un petit morceau d'amadou à l'extrémité inférieure et en dedans du tuyau d'une espèce de pompe qui sert à comprimer l'air : on abaisse ensuite le piston le plus promptement possible; la chaleur qui se développe par la condensation de l'air est si active, que l'amadou

(1) Baillet, Journ. des Mines, n° 76, p. 267.

(2) Baillet, Journ. de Phys., pluviôse an VII, p. 166.

s'embrase. Si l'on termine le corps de pompe par un fond mobile fait d'un morceau d'acier fortement vissé, au centre duquel est adaptée une lentille de verre qui permette de regarder dans l'intérieur, on voit, au premier coup de piston, un trait de lumière vive et brillante jaillir au milieu de l'air condensé (1).

225. On sait que la combustion du gaz oxigène et du gaz hydrogène, produite par l'étincelle électrique, donne lieu à la composition de l'eau. Le célèbre Biot annonça que l'effet d'une compression très-rapide devait remplacer celui de l'électricité, en donnant lieu au dégagement d'une quantité abondante de calorique, qui ne pouvant se dissiper tout-à-coup, porterait son action sur les gaz, dont elle éleverait assez la température pour déterminer leur inflammation. Quoique M. Biot crût inutile de vérifier directement une assertion si étroitement liée avec les observations connues, l'expérience offrait par elle-même un si grand intérêt, que l'indiquer c'était contracter l'engagement de la faire. Il se servit d'une pompe de fusil à vent, dont le fond était fermé par un morceau de glace très épais : ayant introduit dans l'intérieur de cette pompe un mélange des deux gaz, il donna un coup de piston ; aussitôt il parut une lumière extrêmement vive, accompagnée d'une violente détonation, qui était un indice certain de la combinaison des gaz. Cette expérience exige des précautions, pour prévenir les dangers auxquels elle expose ceux qui la font (2).

Limites des Phénomènes par rapport aux Liquides et aux Solides.

226. Les liquides n'étant pas sensiblement compressibles, il ne s'en dégage aucune chalenr apréciable, lorsqu'on les agite, ou que l'on essaie de resserrer leur volume dans un plus petit

---

(1) Bulletin des Sciences de la Société Philomat., prairial an XII, p. 209.

(2) Magasin Encyclopédique, ou Journal des Sciences, des Lettres et des Arts, avril 1805 (germinal an XIII), p. 421.

espace. La contraction, ainsi que la dilatation des mêmes substances, font toujours partie d'un phénomène composé, auquel l'élévation de température ou le refroidissement concourt avec l'une ou l'autre.

227. Il y a diverses manières de faire éprouver aux corps solides une diminution de volume, qui produit sur eux un effet analogue à celui que présentent, dans le même cas, les fluides élastiques. Lorsqu'on bat une barre de fer chaud, chaque coup de marteau, en rapprochant les molécules, fait sortir des jets de calorique rayonnant, qui deviennent sensibles, par l'impression de chaleur qu'ils excitent tout à l'entour.

La même chose a lieu, proportion gardée, par l'action du balancier, par celle des filières, et par les percussions réitérées que subissent les métaux à froid, dans une multitude d'opérations relatives aux arts. Souvent même ces métaux en sortent avec une chaleur considérable due à la portion de calorique qui s'étant dégagée de l'intérieur, n'a pas encore eu le temps de se répandre dans les corps environnans, pour rétablir l'équilibre de température.

Le frottement, que l'on peut considérer comme une sorte d'écrouissement, produit de la chaleur par une cause semblable, en faisant subir aux parties sur lesquelles il agit, une condensation qui détermine un dégagement de calorique. Pour énoncer ces différens effets qui ont lieu dans un corps, soit lorsque le calorique dont il s'imbibe, pour ainsi dire, le dilate, soit lorsqu'une cause qui resserre son volume en exprime le calorique, on a appelé les corps des *eponges de chaleur.*

Différence entre l'effet de la Compression et celui du Refroidissement.

228. Un corps qui se contracte par le refroidissement, et un corps à l'égard duquel la diminution de volume est l'effet de la compression, perdent l'un et l'autre une certaine quantité de leur calorique qu'ils cèdent aux corps environnans. Mais le

premier se dépouille à-la-fois de la partie de son calorique qui le maintenait à la température primitive, et de celle qu'exigeaient les dimensions du volume qui répondait à cette température, au lieu que l'autre corps développe seulement la partie relative à la différence de volume, ensorte qu'il conserve sa température. Il suit de là que si deux corps, en partant du même degré de température, ont éprouvé une égale diminution de volume, mais qui soit pour l'un l'effet de la compression et pour l'autre celui du refroidissement, ce second corps a plus perdu de son calorique que le premier.

Soient, par exemple, deux masses égales d'air m et m', l'une et l'autre à $25^{d.}$ au-dessus de zéro du thermomètre centigrade. Si l'on suppose que l'air m se refroidisse jusqu'à zéro, son volume se trouvera diminué d'environ $\frac{3}{10}$, ainsi qu'on le démontre d'après une règle que nous donnerons dans la suite. Comprimons l'air m', jusqu'à ce que son volume soit aussi diminué de $\frac{3}{10}$, auquel cas, il restera à la même température de $25^{d.}$ Donc il aura moins perdu que l'air m, qui est descendu à zéro. Concevons enfin que l'on communique à l'air m une quantité de calorique capable de faire remonter sa température à $25^{d.}$, qui est aussi celle de l'air m', et qu'en même temps une force quelconque le comprime de manière qu'il reste toujours resserré dans le même espace; alors tout sera égal de part et d'autre entre les deux masses d'air. Soit t la quantité de calorique communiquée à l'air m, et a la quantité qu'il avait perdue en se refroidissant jusqu'à zéro; a moins t représentera sa perte dans l'état actuel. Or cette perte est égale à celle que l'air m' a subie, d'où l'on voit encore que ce dernier air a moins perdu, en se resserrant de $\frac{3}{10}$, par l'effet de la compression, que l'air m en éprouvant une égale contraction, par l'effet du refroidissement.

Si l'on nomme d la quantité perdue par l'air m', d plus t désignera celle qui est sortie de l'air m. Dans cette expression, d représente une perte, commune aux deux masses d'air, d'une portion de calorique qui était latente, et t une perte particulière que l'air m a faite d'une portion de son calorique sensible.

La quantité *d* est celle dont le dégagement se rapporte à la contraction des deux airs, et la quantité *t* celle dont la sortie a déterminé le refroidissement de l'air *m*.

229. Les corps solides, tels que les métaux, dont on resserre le volume, en les écrouissant, sont dans le même cas que l'air *m'*. Ils ne perdent, pendant cette opération, que la quantité de calorique représentée par *d*, qui, comme nous l'avons vu, est très-considérable, dans certaines circonstances, mais qui est inférieure à la quantité *d* plus *t*, qu'ils perdraient, en se contractant dans le même rapport par le refroidissement. Toute la différence entre les métaux et l'air, consiste en ce que les premiers, par une suite de leur ductilité, restent d'eux-mêmes dans l'état où l'écrouissement les a mis, au lieu que l'air ne peut être maintenu dans son état de contraction, sans que la force qui l'y avait amené continue d'agir sur lui. L'affinité qui maintient les molécules métalliques dans leurs nouvelles positions, produit un effet semblable à celui de la compression qui détruit la tendance de l'air, pour reprendre son premier volume, en vertu de son élasticité.

6. De la Loi que suivent les Fluides élastiques dans la variation de leur volume et de leur ressort, par l'effet du Calorique.

Le sujet qui va nous occuper a cela de commun avec la plupart de ceux qui appartiennent aux diverses sciences naturelles, que les connaissances à l'aide desquelles il a commencé à se développer, ont été puisées dans l'étude des corps qui, s'offrant comme d'eux-mêmes à l'observation, semblaient se placer au premier rang pour être interrogés par l'expérience. Ainsi, c'est en soumettant l'air atmosphérique à l'action de la chaleur, que l'on a d'abord reconnu la loi que suit ce fluide, en se dilatant entre certaines limites de température. Ce n'était encore, à cette époque, qu'une loi particulière et comme inhérente à la physique de l'air. Mais depuis que la chimie s'est enrichie

enrichie par la découverte d'une multitude de substances invisibles, élastiques et à-la-fois susceptibles d'être coërcées comme l'air, les physiciens ont entrepris de considérer ces nouvelles espèces d'air sous le même point de vue, et leurs recherches ont produit cet avantage précieux, dont on pourrait également citer des exemples dans beaucoup d'autres genres, que l'accord entre les résultats a servi à prouver la généralité des propriétés dont ils dépendent, et a conduit, par degrés, la science à ce point de hauteur, d'où elle embrasse tous les phénomènes dans une même conception.

230. Le calorique qui, à mesure qu'il élève la température de l'air, augmente le volume de ce fluide, lorsqu'il a la faculté de s'étendre, ajoute à sa force de ressort, lorsque le volume reste fixe, c'est-à-dire, qu'alors l'air exerce un plus grand effort contre l'obstacle qui le captive. Or il est facile de voir que la nouvelle pression qu'il faut employer, pour empêcher une masse d'air échauffé de se dilater, donne la mesure de la dilatation qui aurait effectivement lieu, si l'air continuait d'être soumis à la pression primitive. Supposons, par exemple, que celle-ci soit égale à la pression moyenne de l'atmosphère, qui fait équilibre au poids d'une colonne de mercure de 28 pouces ou environ 76 centimètres. Supposons de plus que l'action d'une nouvelle chaleur augmente le ressort de l'air, au point que, pour le tenir resserré dans le même espace, il faille employer une pression double, ou de 152 centimètres de mercure. On en conclura que si l'air n'avait à soutenir que la pression de 76 centimètres, son volume se trouverait doublé, au terme où son ressort diminué par la dilatation ferait équilibre à cette même pression.

Résultats d'Amontons.

Les premiers résultats qui se présentent, relativement à cet objet, sont ceux d'Amontons, l'un des physiciens qui ait le mieux connu l'art de mettre la nature en action par l'expérience, et de la faire parler en même temps aux yeux et à l'esprit.

231. Voici le procédé employé par ce savant célèbre, pour mesurer l'augmentation de ressort que l'air éprouvait entre deux limites connues de chaleur. Il avait choisi pour la plus basse de ces limites, la température modérée qui règne pendant le printemps ou l'automne, et qui répond à 14$^{d.}$ environ de Réaumur. L'autre limite était le degré de l'eau bouillante, et nous devons dire ici que c'était Amontons qui, le premier, avait observé le phénomène remarquable qu'offre ce liquide, en restant à la même température, dès qu'une fois il est parvenu à l'ébullition, quelque long temps qu'on le laisse sur le feu, et quelle que soit l'activité de la chaleur. Mais on ne connaissait point alors le terme opposé, qui est celui de la glace fondante, et, au défaut de ce terme fixe, Amontons avait adopté la température moyenne entre les divers degrés de chaleur et de froid que l'on éprouve dans notre climat.

Son appareil consistait dans un tube de verre, dont la partie inférieure qui était recourbée se terminait par une boule. La branche ouverte, dont la longueur était d'environ 47 pouces ou 127 centimètres, avait un très-petit diamètre, tandis que celui de la boule était, à proportion, très-considérable. Amontons introduisait dans le tube une quantité de mercure suffisante pour remplir la courbure, ensorte que, quand le tube était situé verticalement, le mercure s'arrêtait d'une part dans la partie inférieure de la boule, et d'une autre part à la même hauteur dans le tube. Ce niveau dépendait de ce que l'air renfermé dans la boule fût resté dans son état naturel, où il faisait équilibre, par son ressort, à la pression de l'atmosphère.

La température primitive étant, comme nous l'avons dit, d'environ 14$^{d.}$ de Réaumur, on faisait prendre à la boule la chaleur de l'eau bouillante. L'air intérieur acquérait alors un surcroît de ressort, qui déterminait une portion du mercure sur lequel s'exerçait sa pression, à passer dans le tube, où il s'élevait en colonne. Pendant ce mouvement, l'air s'étendait pour occuper l'espace quitté par le mercure ; mais la quantité de sa dilatation pouvant être négligée, à cause de la grande capacité de la boule, son volume n'était pas censé avoir changé, en-

sorte que l'augmentation de ressort, mesurée par la colonne de mercure qui s'élevait au-dessus du niveau, se trouvait sensiblement proportionnelle à l'accroissement de la force élastique de l'air. Or cet air, au commencement de l'expérience, supportait la pression de l'atmosphère, qui représentait celle d'une colonne de mercure d'environ 28 pouces ou 758 millimètres de longueur. Mais après que l'air avait pris la chaleur de l'eau bouillante, le mercure chassé dans le tube y occupait un espace d'environ 9 pouces $\frac{1}{3}$ ou 252$^{millim.}$, 6 au dessus du niveau, c'est-à-dire que la pression à laquelle l'air faisait équilibre, était alors de 37 pouces $\frac{1}{3}$ ou de 1010$^{millim.}$, 6. Amontons en avait conclu que, depuis la température moyenne jusqu'au degré de l'eau bouillante, le ressort de l'air, tendu d'abord par la pression moyenne de l'atmosphère, augmente d'environ un tiers.

Si, au lieu de ne laisser d'abord supporter à l'air renfermé dans la boule que la pression moyenne de l'atmosphère, on le chargeait en outre d'une colonne de mercure dont la longueur fût, par exemple, de 28 pouces, auquel cas la pression se trouvait doublée, et l'air intérieur occupait un espace une fois moindre que dans son état naturel (218), le ressort de ce fluide augmentait toujours suivant le même rapport, par la chaleur de l'eau bouillante, c'est-à-dire que, dans le cas présent, la pression primitive étant de 56 pouces, l'alongement de la colonne était de 18 pouces $\frac{2}{3}$.

232. Amontons conçut l'idée d'appliquer ce dernier résultat à la construction d'un thermomètre d'air, qui fût comparable, et au moyen duquel on pût transmettre, disait-il, à la postérité les observations que l'on aurait faites sur la température des différens climats, au lieu que jusqu'alors les divers instrumens de ce genre n'avaient aucune relation entre eux, et n'offraient que des indications locales et isolées. Ce thermomètre avait plusieurs inconvéniens qui l'ont fait abandonner ; la température moyenne n'offrait pas une limite assez fixe ; il fallait de plus, en consultant l'instrument, avoir égard à la hauteur du baromètre, pour faire la correction qu'exigeait la varia-

tion de la colonne de mercure au-dessus ou au-dessous de 28 pouces. Enfin ce thermomètre devenait embarrassant par la grandeur de ses dimensions. Mais c'était le premier dont l'exécution eût été dirigée vers la véritable perfection de ce genre d'instrumens, et il renfermait un terme invariable de chaleur qui a passé dans la construction des thermomètres aujourd'hui en usage, comme nous le verrons bientôt.

233. Quelle que fût la masse d'air employée dans les expériences que nous avons citées, l'augmentation de ressort suivait toujours la même loi; d'où résultait ce principe, que si des masses d'air inégales, qu'on suppose avoir la même température, sont chargées de poids égaux, leur force de ressort s'accroîtra également par des degrés égaux de chaleur, ensorte que, pour les maintenir dans le même espace, il faudra augmenter de la même quantité les poids qui les compriment.

L'expérience faisait voir encore que si des masses d'air égales étaient chargées de poids inégaux, à égalité de température, leur force élastique s'accroissait proportionnellement à ces mêmes poids, par une même augmentation de chaleur. Ainsi, une masse d'air qui, étant d'abord chargée de 30 pouces de mercure, au-dessus de la pression primitive, avait acquis un surcroît d'élasticité mesuré par 10 pouces de mercure, dans le passage de la température moyenne au degré de l'eau bouillante, en acquérait un égal à 20 pouces, lorsque la charge était de 60 pouces, ensorte que les poids comprimans devaient être augmentés dans le même rapport, pour que le volume ne subît aucun changement.

Résultats de Gay-Lussac et de Dalton.

Le peu de fixité du terme moyen qu'Amontons avait pris dans le cours des saisons, jetait nécessairement de l'incertitude sur la conséquence qu'il avait déduite de ses observations. Plusieurs savans se sont occupés depuis du même objet, en prenant le degré de la glace fondante et celui de l'eau bouillante, pour limites de la température, et la pression

moyenne de l'atmosphère, pour celle qui devait agir uniformément sur l'air; mais la grande diversité qui se trouve entre leurs résultats, faisait desirer que ce point de physique fût soumis à un examen plus rigoureux. Gay-Lussac a entrepris de remplir cette tâche, et, par une suite d'expériences faites avec beaucoup de soin et de précision, il est parvenu à déterminer non-seulement la dilatation de l'air atmosphérique, entre les deux limites dont nous avons parlé, mais même celle de divers autres gaz solubles et non solubles; et, ce qui ajoute un nouveau degré de mérite aux résultats qu'il a obtenus, c'est l'uniformité de la loi de dilatation à laquelle il a été conduit (1).

234. Avant d'exposer les résultats dont il s'agit, ce savant discute les différens moyens employés jusqu'alors pour arriver au même but, et il remarque que la cause qui a le plus contribué à les rendre fautifs, a été la présence de quelques gouttes d'eau qui étaient restées dans les appareils. Cette eau, en occupant, par sa vaporisation, un volume près de 1800 fois plus considérable que dans l'état de liquidité, déplaçait une grande partie de l'air renfermé avec elle dans le même ballon, ensorte que l'on attribuait à l'air une dilatation beaucoup trop forte, en supposant qu'il remplissait seul la capacité du ballon où la température était parvenue au degré de l'eau bouillante. Gay-Lussac a employé des procédés différens par rapport aux gaz insolubles et à ceux qui sont solubles.

235. Voici d'abord à quoi se réduit sa méthode, relativement aux premiers : on prend un ballon très-sec, dans lequel on introduit le gaz dont on veut déterminer la dilatation; on fait ensuite chauffer ce ballon jusqu'au terme de l'eau bouillante, et quand la dilatation a produit tout son effet pour faire sortir une partie du gaz, on refroidit celui-ci au degré de la glace fondante, et on laisse entrer en même temps dans le ballon autant d'eau que le permet la présence du gaz qui y

(1) Annales de Chimie, par Guyton, Monge, Berthollet, etc., N° 128, p. 137 et suiv.

reste ; sur quoi il est à remarquer que le gaz , dans ses différens états , doit toujours être ramené à l'équilibre avec la pression constante de l'atmosphère. Cela posé , le volume de l'eau qui s'est introduite dans le ballon , représente la quantité dont le gaz qui y reste est susceptible de se dilater, depuis le degré de la glace fondante , jusqu'à celui de l'eau bouillante. On pèse le ballon d'abord dans cet état , puis après l'avoir rempli d'eau , et enfin après l'avoir vidé. La différence entre le poids du ballon vide et celui du ballon plein d'eau , donne la capacité du ballon ; et la différence entre le poids du ballon vide et celui du ballon contenant un volume d'eau égal à l'espace que le gaz a laissé libre en se contractant , donne la mesure de ce volume , après quoi il est facile de déterminer le rapport entre les volumes du gaz dans les deux températures extrêmes.

236. En opérant de cette manière , Gay-Lussac a trouvé que l'air atmosphérique se dilate depuis la température de la glace fondante jusqu'à celle de l'eau bouillante dans le rapport de 100 à 137,5, un peu plus fort que celui de 3 à 4 ; il en résulte que la dilatation , entre les mêmes limites , est de $\frac{37,5}{100}$ ou de $\frac{80}{213,33}$ du volume primitif. Le gaz hydrogène , le gaz oxigène et le gaz azote soumis aux mêmes expériences , ont donné des résultats absolument semblables.

237. Pour déterminer la dilatation des gaz solubles , Gay-Lussac a eu recours à un moyen aussi simple qu'ingénieux , en prenant pour terme de comparaison la dilatation d'un des gaz insolubles , qui avaient été l'objet des expériences précédentes. Son appareil était composé de deux tubes exactement gradués sur leur longueur et plongés verticalement dans un bain de mercure ; l'un contenait de l'air atmosphérique , et l'autre le gaz qu'on voulait éprouver , et les deux fluides s'élevaient dans les tubes à la même hauteur. On portait cet appareil dans une étuve dont on élevait progressivement la température , et on voyait les deux gaz monter dans leurs tubes de manière à correspondre toujours très-exactement aux mêmes divisions , ce qui prouvait l'égalité des dilatations. Les fluides qui ont été l'objet de cette comparaison sont le gaz acide car-

bonique, le gaz acide muriatique, le gaz sulfureux et le gaz nitreux. Cette uniformité dans la marche que suivaient les différens gaz en se dilatant, offrait déjà une forte raison d'analogie, pour penser que les vapeurs devoient être soumises à la même loi. Gay-Lussac s'est contenté, à cet égard, d'une seule expérience, qui devait servir plutôt d'exemple que de preuve. Il a choisi la vapeur de l'éther sulfuré; et en employant le même procédé que pour les gaz solubles, il a observé que le progrès de la dilatation était absolument égal de part et d'autre.

Ces résultats s'accordent avec ceux des expériences que Dalton avait entreprises vers le même temps en Angleterre, relativement au même objet, mais dont le chimiste français ne pouvait avoir eu connaissance, lorsqu'il fit part de son travail à l'Institut national des Sciences et Arts. Charles avait déjà obtenu, il y a environ quinze ans, des résultats semblables pour les gaz insolubles; mais ses expériences sur les gaz solubles lui avaient offert une dilatation particulière à chacun d'eux, et sous ce point de vue, ses résultats différaient beaucoup de ceux de Gay-Lussac.

Ainsi la dilatabilité des divers gaz et des vapeurs, par l'action de la chaleur, ne dépend en aucune manière de leur nature, mais seulement de leur état élastique. Jamais la Physique n'est plus intéressante que quand l'étude des phénomènes naturels la conduit à ces propriétés qui les généralisent, et nous les montrent tous renfermés dans un seul.

238. Pour rendre raison de cette uniformité de la loi à laquelle sont soumises les dilatations des gaz et des vapeurs, il suffit de considérer que les affinités qu'exerçaient entre elles les molécules de chacun de ces corps, dans l'état de liquidité, et qui balançaient diversement la force élastique du calorique, suivant les différentes natures des mêmes corps, sont entièrement détruites, en vertu du passage à l'état de fluidité. Il ne reste donc plus alors que la force élastique du calorique, qui, trouvant les molécules de tous les fluides pour ainsi dire également disposées à lui obéir, doit déterminer une marche uni-

forme dans les dilatations qui ont lieu entre les mêmes limites de température.

239. Les recherches que nous venons d'exposer ne donnent le rapport de dilatation que pour les deux limites qui répondent aux extrêmes de la température. Il reste à déterminer avec précision le coëfficient qui représente la dilatation relative à chaque degré du thermomètre. Gay-Lussac a déjà trouvé que ce coëfficient n'était pas constant, et il se propose d'entreprendre un nouveau travail, pour connaître la loi de ses variations.

240. Dalton, en continuant ses expériences sur les fluides, est parvenu à un autre résultat non moins remarquable, en ce qu'il ramène encore à une même échelle les forces élastiques des divers fluides comparées entre elles, à des températures particulières pour chacun d'eux (1). Voici en quoi consiste ce résultat : si l'on prend pour terme commun la force qui fait équilibre à une pression donnée, telle que la pression moyenne de l'atmosphère, le rapport suivant lequel varie cette force, par des différences égales de température, est le même pour tous les fluides. Ainsi la vapeur aqueuse qui, à une température de $100^{d.}$ (C) (2), ($80^{d.}$ R), ou au terme de l'ébullition de l'eau, est capable de soutenir une pression de $76^{cent.}$ ($28^{po.}$), perd la moitié de sa force, par une diminution de $16^{d.},6$ (C), ($13^{d.},3$ R), dans sa température, et cette même force se trouve doublée, par un accroissement de température égal à $22^{d.},2$ (C), ($17^{d.},8$ R). Or la vapeur de tout autre fluide perd également la moitié de sa force, en se refroidissant de $16^{d.},6$, au-dessous du terme particulier de son ébullition, et acquiert une force double en s'échauffant de $22^{d.},2$, au-dessus du même terme.

241. Choisissons un autre rapport, et faisons-en l'application

---

(1) Bibliothèque Britan., N° 160, vol. xx, p. 343 et suiv.

(2) Dans toutes les indications de température que nous donnons ici, la lettre C désigne le thermomètre centigrade, et la lettre R, le thermomètre dit de Réaumur.

à la vapeur de l'éther et à celle de l'eau. On sait que l'éther entre en ébullition à $38^{d.},8$ (C), $(31^{d.},4$ R), c'est-à-dire, qu'alors sa vapeur soutient une pression de $76^{cent.}$ $(28^{po.})$; la même vapeur, refroidie jusqu'à $16^{d.},6$ (C), $(13^{d.},3$ R), ne soutient plus qu'une pression de $30^{cent.}$ Telle est aussi la pression qne soutient la vapeur aqueuse, à $77^{d.},8$ (C), $(62^{d.},2$ R); Or, si l'on prend la différence entre $16^{d.},6$ et $38^{d.},8$, qui indiquent, par rapport à l'éther, le terme de l'ébullition, on trouve qu'elle est de $22^{d.},2'$, comme celle qui existe entre $77^{d.},8$ et $100^{d.}$ qui répondent à la chaleur de l'eau bouillante.

D'une autre part, la vapeur de l'éther échauffée jusqu'à $63^{d.},8$ (C), $(51^{d.},4$ R), fait équilibre à une pression de $16^{decim.}$; et la vapeur aqueuse a la même force, lorsque sa température est de $125^{d.}$ (C), $(100^{d.}$ R). Or chacune de ces deux températures diffère de $25^{d.}$ de celle qui répond à l'ébullition du liquide auquel elle se rapporte, cette différence étant égale à $63^{d.},8 - 38^{d.},8$ pour la vapeur de l'éther, et à $125^{d.} - 100^{d.}$ pour la vapeur aqneuse. Ainsi l'on voit partout les divers fluides sur lesquels agit le calorique, s'assimiler entre eux, dans leur manière d'obéir à son action, comme s'ils n'étaient qu'un même fluide pris dans différens états de densité.

7. Des Dilatations et Contractions de divers Corps solides, par les Variations de la température.

242. C'était une espèce d'axiome reçu depuis très-long-temps, que la chaleur dilate les corps et que le froid les resserre. Mais il a fallu aux physiciens des connaissances amenées par les progrès que la science a faits dans ces derniers temps, pour traduire l'axiome dont il s'agit en cet autre langage, qui offre les deux phénomènes sous leur véritable point de vue : à mesure que le calorique s'accumule dans un corps, il en écarte les molécules, en luttant avec avantage contre leur affinité mu-

tuelle, et à mesure qu'il abandonne un corps, l'affinité reprenant le dessus, rapproche les molécules. Ainsi nous devons nous représenter cette immense multitude de corps répandus dans la nature, comme ayant leurs molécules sollicitées par deux forces contraires aux prises l'une avec l'autre, et dont chacune domine ou cède tour-à-tour, ensorte qu'au milieu des alternatives continuelles de la température, ces molécules font sans cesse des oscillations autour des centres de leurs sphères d'activité sensible. Les effets ordinaires de ces oscillations échappent à nos sens ; mais il est des circonstances où l'une des deux forces prévaut tellement sur l'autre, que l'augmentation ou la diminution de volume qui en est la suite ne doit pas être négligée, surtout lorsque ces variations qui en elles-mêmes sont peu considérables, s'agrandissent dans les résultats des observations auxqnelles est destiné un mécanisme ou un appareil, dont les pièces sont exposées, pendant ces variations ellesmêmes, à l'inconstance de la température.

243. On a cherché à déterminer particnlièrement les dilatations et les contractions que cette cause fait éprouver à certaines substances d'nn usage plus fréquent ; ainsi l'on a trouvé que, pour chaque degré du thermomètre dit de Réaumur, le fer se dilate d'environ $\frac{1}{75000}$ de chacune de ses dimensions, le cuivre de $\frac{1}{43000}$, le platine de $\frac{1}{92000}$, et le verre de $\frac{11}{1000000}$.

Règle d'un usage facile dans les Opérations relatives au même objet.

244. Pour estimer la dilatation d'une des surfaces d'un solide, lorsque l'on connaît le rapport de dilatation de la substance dont il est composé, on multiplie la fraction qui représente ce rapport, par le nombre de degrés dont la température a été élevée, puis l'on prend le double du résultat; et pour évaluer la dilatation de tout le volume, on triple le même résultat; par exemple, si l'on a une masse de fer qui se soit dilatée, en passant d'une température de 10 · du thermomètre

dit de Réaumur, à celle de 15$^{d.}$, ce qui fait 5$^{d.}$ d'élévation pour la température, on multiplie par 5 la fraction $\frac{1}{75000}$, qui exprime le rapport de dilatation du fer; et en triplant le résultat, on a $\frac{15}{75000}$ ou $\frac{1}{5000}$, ce qui fait connaître que le corps s'est dilaté d'une quantité égale à $\frac{1}{5000}$ de son volume. Les géomètres verront aisément que cette méthode se réduit à considérer le corps comme un parallélipipède, dont la solidité serait le produit des trois dimensions de ce corps, et à chercher ensuite l'accroissement de cette solidité, en faisant varier chaque dimension d'après la loi donnée de la dilatation, et en rejetant du résultat les quantités affectées des puissances qui passent le premier degré. L'erreur produite par cette omission est censée nulle par rapport à ce genre de résultats (1). On suppose, dans ces évaluations, que les degrés de dilatation suivent sensiblement les variations de la température; supposition permise dans le cas présent, parceque les corps que l'on considère ont une température modérée, et sont encore loin de la fusion, où l'action du calorique acquiert une si grande prépondérance sur l'affinité, que la dilatation prend une marche beaucoup plus rapide que celle de la température.

Les savans distingués qui ont déterminé les nouvelles unités de mesure et de poids, ont senti combien il était intéressant d'appliquer cette méthode aux résultats de leurs opérations. Les règles de platine destinées à mesurer les bases de la chaîne de triangles d'où l'on a déduit la valeur de l'arc du méridien

---

(1) Soient x, y, z, les trois dimensions du corps, $\frac{1}{s}$ le rapport de dilatation pour un degré de température, et n le nombre de degrés dont la température s'est élevée. On supposera que les quantités x, y, z soient devenues, la première $x + \frac{x}{s}$, la seconde $y + \frac{y}{s}$, et la troisième $z + \frac{z}{s}$. Multipliant ces trois dernières quantités l'une par l'autre, et supprimant les fractions dont le dénominateur est s^2 ou s^3, on aura $xyz + \frac{3xyz}{s} - xyz$, ou $\frac{3xyz}{s}$, pour la dilatation qui répond à un degré; donc la dilatation totale sera $\frac{3nxyz}{s}$.

qui traverse la France, ont été employées à différens jours, par des températures différentes. Le cylindre de laiton qui a servi à fixer l'unité de poids (61), n'avait plus la même température quand on l'a pesé dans l'eau, que quand on a évalué sa solidité. La connaissance de la quantité dont le platine et le laiton se dilatent, pour chaque degré du thermomètre, a fourni les moyens de faire disparaître les petits écarts de la température, et d'arriver aux mêmes résultats que si l'observation eût procédé comme la théorie.

Pendule compensateur.

245. On sait combien la dilatation et la condensation des métaux, par les variations de la température, nuisent à la régularité du mouvement des horloges, en augmentant ou en diminuant la longueur de la verge du pendule, dont les oscillations se trouvent, par là même, retardées ou accélérées. On est parvenu, par un mécanisme ingénieux, à tourner cette cause d'irrégularité contre elle-même, et à faire naître de ses anomalies la constance et l'uniformité. Ce mécanisme consiste, en général, à combiner avec la verge de fer du pendule, un autre corps métallique, qui est ordinairement de cuivre, et à disposer le tout, de manière que quand la verge de fer à laquelle est suspendue la lentille, s'alonge ou se raccourcit, le cuivre éprouvant de semblables variations en sens contraire, établisse une exacte compensation, dont l'effet soit de maintenir le centre d'oscillation constamment à la même hauteur.

Autres Exemples de Dilatations ou de Contractions produites par les mêmes causes.

246. L'influence du calorique sur les dimensions des corps se montre dans une multitude d'autres faits, dont l'observation nous est familière. Un changement un peu marqué de tempé-

rature altère le degré de tension des cordes dans les instrumens de musique, suivant un autre degré que celui qui a été réglé par l'accordeur, et il faut que, par une nouvelle opération, il rende aux sons cette justesse, sans laquelle il n'y a point d'harmonie.

247. On peut rendre la dilatabilité du verre très-sensible à l'aide d'une expérience, dont le résultat excite toujours la surprise de ceux qui la voient pour la première fois. On prend un tube de verre d'un petit diamètre, terminé par une boule de la grosseur d'une orange; on remplit la boule et une partie du tube d'une liqueur colorée, et l'on marque sur le tube l'endroit où elle s'arrête; on plonge la boule dans un vase rempli d'eau prête à bouillir, puis on la retire: au moment de l'immersion, la liqueur du tube descend précipitamment d'une quantité considérable; mais elle remonte un peu plus haut que la marque faite sur ce tube, dès que l'on a retiré la boule de l'eau chaude. Dans cette expérience, la chaleur qui se communique d'abord au verre en dilate les parties, ce qui augmente la capacité de la boule, et fait descendre la liqueur; la boule retirée ensuite de l'eau chaude, et remise en contact avec l'air, se resserre, et la liqueur qui a déjà acquis une petite quantité de chaleur, s'élève un peu au-dessus de son premier niveau.

La matière des poteries que l'on fabrique pour nos usages, étant par elle-même un mauvais conducteur de la chaleur, surtout si son tissu est compacte et serré, il en résulte un inconvénient qui devient plus ou moins sensible, lorsque nous exposons ces vases à l'action du calorique. Ce fluide, par une suite de la lenteur avec laquelle il se distribue, s'accumulant aux endroits qui lui offrent un plus libre accès, tend à y produire un écartement entre les molécules; et en supposant que par des précautions on évite les ruptures qui mettent un vase hors de service, il s'y fait, dès la première fois qu'on l'expose au feu, une multitude de petites gerçures, qui s'annoncent par une espèce de pétillement, et qui deviennent apparentes à l'œil, en formant comme un réseau sur la sur-

face du vernis dont le vase est enduit. Un tissu plus lâche et plus poreux obvierait à cet inconvénient, mais le vase en deviendrait plus frêle ; ensorte qu'on ne peut obtenir l'une de ces deux qualités, la solidité et la résistance à l'action du feu, qu'aux dépens de l'autre.

8. Du Thermomètre.

Les changemens de volume que subissent les liquides, suivant que la quantité de calorique augmente ou diminue dans l'intérieur de ces corps, ont donné naissance à un instrument précieux pour le physicien, qu'il dirige dans une multitude d'expériences, et qui est même devenu d'un usage presque général, par l'intérêt qu'ont tous les hommes à le consulter. Cet instrument est le thermomètre, qui sert à mesurer les degrés de la chaleur. Avant son invention, on n'avait que des indications incertaines et confuses sur les variations de la température ; on se bornait à comparer entre eux les hivers les plus rigoureux et les étés les plus brûlans, d'après certains effets généraux qui offraient un rapprochement presque aussi vague que le sont par elles-mêmes les expressions de froid et de chaud. Le thermomètre nous a mis à portée de tenir un journal fidèle et détaillé des différentes saisons de chaque année, et des effets gradués de leur température.

Origine du Thermomètre.

248. Cet instrument, dont on attribue la première idée à un Hollandais nommé Drebbel, était d'abord très-imparfait, comme le sont la plupart des inventions humaines à leur naissance. Il consistait en un tube de verre, terminé d'un côté par une boule, et ouvert à l'extrémité opposée. On le plongeait, par cette même extrémité, dans une liqueur colorée ; puis, en appliquant la main sur la boule, pour échauffer et dilater l'air intérieur, on déterminait une portion de cet air à

s'échapper à travers la liqueur ; ensorte que, quand on retirait ensuite la main, l'air qui restait, venant à se condenser par le refroidissement, permettait à la liqueur de s'introduire jusqu'à une certaine hauteur par la pression de l'air extérieur. L'instrument se trouvait alors en état de servir, et c'était la dilatation de l'air intérieur, ou sa contraction, en vertu des variations de la température, qui, en faisant descendre la liqueur suspendue dans le tube, ou en la laissant remonter, indiquait ces mêmes variations. Mais il est aisé de sentir que cet instrument, dont la marche était compliquée à la fois des effets du thermomètre et de ceux du baromètre, ne pouvait donner que des indications équivoques.

Thermomètre de Florence.

249. Bientôt les Physiciens s'occupèrent de perfectionner cette première ébauche, et d'amener l'instrument à n'être plus qu'un simple thermomètre. Tel était celui qu'on a nommé *thermomètre de Florence*, et qui consiste dans un tube de verre, terminé de même par une boule, mais que l'on scellait hermétiquement par le haut, après l'avoir rempli d'une liqueur colorée jusque vers le milieu de sa hauteur.

On appliquait ensuite ce tube sur une planche graduée, et l'on jugeait de la dilatation ou de la contraction de la liqueur par le nombre des degrés parcourus. Mais comme tout était arbitraire, et dans la construction de l'instrument, et dans les divisions de l'échelle, chaque instrument avait un langage qui ne pouvait être entendu que par celui qui le consultait, et deux instrumens, ainsi construits, ne pouvaient se servir mutuellement d'interprètes, ni mettre les observateurs à portée de juger si la chaleur avait été plus forte, ou le froid plus vif dans un lieu que dans l'autre.

Conditions requises pour obtenir un bon Thermomètre.

250. La perfection du thermomètre réside essentiellement dans la réunion de deux qualités, dont l'une est d'être comparable avec lui-même, dans les divers mouvemens de sa liqueur, et l'autre d'être comparable avec tous les thermomètres construits d'après les mêmes principes, situés dans des climats différens. Pour concevoir en quoi consiste la première qualité, il faut se rappeler que le calorique communiqué à un corps emploie une partie de ses molécules à élever la température de ce corps, et l'autre à le dilater (148). L'élévation de température dépend de la quantité dont la tension du calorique sensible a été augmentée ; or on juge de cet accroissement de tension par la quantité de la dilatation, qui est l'effet d'une autre partie du calorique, c'est-à-dire de celle qui est devenue latente. Il faut donc, pour que la quantité de la dilatation puisse donner la mesure de l'accroissement de tension, que la partie du calorique qui sert à dilater le corps soit proportionnelle à celle qui élève la température. C'est ce qui n'a pas lieu dans la plupart des corps, où le rapport entre la portion de calorique qui dilate et celle qui échauffe varie avec la dilatation elle-même ; mais nous verrons qu'il existe des substances dans lesquelles les deux parties varient par des degrés sensiblement proportionnels, au moins dans l'intervalle compris entre les limites des observations ordinaires.

Pour obtenir la seconde qualité, qui rend les divers thermomètres comparables entre eux, il faut que les mouvemens de la liqueur se combinent tellement avec la graduation, dans chacun d'eux, que quand la température est la même, dans les différens lieux où nous les supposons placés, ils indiquent tous le même degré de leur échelle. C'est vers ce but que se sont dirigées d'abord les recherches des physiciens ; celles qui ont rapport à la première qualité, dont l'influence était alors méconnue

méconnue ou négligée, tenaient à des procédés délicats, réservés pour le temps où la théorie du calorique, si délicate elle-même dans son ensemble, serait arrivée plus près de sa perfection. Avant de faire connaître la construction qui réunit l'une et l'autre qualité, nous en décrirons une qui répond à une époque mémorable dans l'histoire du thermomètre, et qui mérite d'être exposée, même après que l'on a trouvé encore mieux.

Thermomètre de Réaumur.

251. Ce célèbre physicien, en imaginant son thermomètre, s'était proposé de remplir trois conditions : l'une, que la graduation partît d'un terme constant où il plaçait le zéro du thermomètre ; la seconde, que les degrés eussent un rapport déterminé avec la capacité, tant de la boule, que de la partie du tube située entre cette boule et le point de zéro ; la troisième, que l'alkohol qu'il employait eût un degré connu de dilatabilité auquel on pût toujours l'amener. Il avait à choisir entre deux termes constans, qui dès lors avaient été remarqués, savoir, la chaleur de l'eau bouillante, et le froid produit par la congélation de l'eau. Il se décida en faveur du dernier comme étant celui qui semblait donner la limite naturelle entre le chaud et le froid, et il choisit, pour le déterminer, l'instant de la congélation artificielle de l'eau, à l'aide d'un mélange de glace et de sel marin. On a substitué depuis à ce terme celui de la glace fondante, qui est pour le moins aussi fixe.

Réaumur se servait d'eau commune pour graduer son thermomètre. Il remplissait d'abord de cette eau la boule et une partie du tube, et s'arrangeait de manière, que la quantité d'eau employée fût mille fois aussi grande que celle qui pouvait être contenue dans une très-petite mesure prise pour unité. Ayant marqué zéro à l'endroit où l'eau s'était arrêtée, il se disposait à tracer les degrés, en commençant par ceux de condensation. Dans cette vue, il faisait d'abord sortir du tube une telle quantité d'eau, qu'elle put remplir exactement une mesure

qui contenait un certain nombre de fois l'unité. Supposons que cette mesure fût de 25 unités ; il devait y avoir, dans ce cas, 25 degrés de condensation sur le thermomètre. Il se servait de la mesure élémentaire pour obtenir ces degrés, ensorte que chaque élévation de l'eau, dans l'intérieur du tube, produite par le versement d'une mesure élémentaire, déterminait la grandeur d'un degré. Dans cette seconde opération, Réaumur substituait le mercure à l'eau, parcequ'il ne s'attache point au verre, et qu'il en résulte une plus grande précision. Le mercure, en tombant au fond de la boule, faisait monter d'autant le liquide contenu dans le tube. A l'aide du même procédé, Réaumur poussait la graduation jusqu'à 80$^{d.}$ au-dessus de zéro. Il préférait de graduer ainsi le tube, en y faisant entrer successivement des quantités égales de liquide, plutôt que de continuer la division, d'après la grandeur connue d'un seul degré, pour n'avoir rien à craindre des inégalités intérieures du tube et des variations de son diamètre.

La graduation une fois établie, Réaumur vidait le tube, et y versait de l'alkohol jusqu'à la hauteur de 4 ou 5 degrés au-dessus de zéro, puis il plongeait la boule dans l'eau que contenait un vase de fer blanc qu'il entourait de glace artificielle. Au moment où l'eau entrait en congélation, Réaumur observait le point où s'arrêtait l'alkohol, et suivant que ce liquide se trouvait un peu au-dessus ou au-dessous de zéro, il en faisait sortir ou en ajoutait, jusqu'à ce que sa hauteur dans le tube coïncidât exactement avec le point de zéro.

On voit par ces détails, que pour un degré de chaleur, l'alkohol se dilatait d'une quantité égale à la millième partie de celle qui, au moment de la congélation, remplissait la boule et la partie du tube comprise entre cette boule et le point de zéro.

L'opération se serait bornée aux procédés que nous venons de décrire, si tous les alkohols avaient la même qualité et la même dilatabilité. Mais comme on ne devait pas s'attendre à ces avantages, il avait fallu fixer la quantité de dilatation dont l'alkohol, employé dans la construction du thermomètre, de-

vait être susceptible. Voici comment Réaumur avait été conduit à cette détermination. Ayant plongé à plusieurs reprises un tube rempli d'alkohol jusqu'à une certaine hauteur dans de l'eau qui s'échauffait toujours de plus en plus, et finissait par bouillir, il avait remarqué que quand les bouillonnemens que la chaleur avait excités dans l'alkohol lui-même s'étaient appaisés, après que le tube avait été retiré de l'eau, l'alkohol se trouvait toujours plus haut qu'avant l'immersion; mais cette dilatation n'avait lieu que jusqu'à un certain terme, passé lequel, aussitôt que l'ébullition avait cessé, la liqueur reprenait son niveau. Il avait regardé comme un terme fixe pour chaque espèce d'alkohol, cette dilatation, qui était la plus grande que le liquide pût éprouver par la chaleur de l'eau bouillante, lorsque lui-même ne bouillait pas; il résultait de là qu'il y avait, relativement à un alkohol donné, un rapport constant entre le volume du liquide, qui répondait au terme de la congélation, et celui du même liquide, dilaté le plus qu'il était possible, sans bouillir. Ce rapport était plus grand pour l'alkohol rectifié, et diminuait lorsqu'on avait affaibli l'alkohol par un mélange d'eau. Or Réaumur s'en était tenu au rapport de 1000 à 1080, qui ne pouvait convenir qu'à un alkohol un peu étendu d'eau, et il fallait chercher par tâtonnement le degré de mélange qui donnait ce rapport.

On voit par là que Réaumur n'avait employé que secondairement la chaleur de l'eau bouillante, et que le degré 80 sur son thermomètre était nécessairement situé plus bas que sur le thermomètre ordinaire, puisqu'il faut une chaleur moindre que celle de l'eau bouillante pour amener l'alkohol au degré où il est sur le point de bouillir.

La construction dont nous venons de parler fut généralement accueillie. On ne parla presque plus que du thermomètre de Réaumur; et il se forma une liaison si intime entre le nom de l'inventeur et celui de l'instrument, qu'aujourd'hui même encore, les thermomètres dont nous nous servons sont appelés *thermomètres de Réaumur*, quoiqu'ils ne soient pas faits d'après sa méthode.

Thermomètre moderne, usité en France.

252. La marche de ce nouvel instrument se rapporte à deux termes fixes, dont l'un, qui sert de point de départ, ne diffère de celui qu'employait Réaumur, que par la circonstance dans laquelle se trouve l'eau dont la température détermine ce même terme, et qui est à l'état de glace fondante, et non à l'état de congélation commencée; l'autre, qui donne la limite opposée, est la chaleur de l'eau bouillante. On choisit le tube le mieux calibré qu'il est possible, et on divise d'abord en 80ᵈ· la distance comprise entre les deux termes fixes, puis on continue la même division au-dessous de zéro. Dans le thermomètre que l'on appelle *centigrade*, la distance dont nous venons de parler est divisée en cent parties.

Cette méthode réunit au mérite d'une plus grande exactitude, celui de la simplicité, en ce qu'elle ramène uniquement la construction du thermomètre à la cause même des variations de cet instrument, et aux deux époques où l'eau, prenant tout à coup une nouvelle forme, avertit le physicien de l'existence du point fixe qu'il cherche à saisir. Nous devons observer, à ce sujet, que la pression de l'air n'influe pas sensiblement sur la première limite, qui est le degré de la glace fondante, au lieu qu'il est nécessaire d'avoir égard à cette pression pour déterminer la limite opposée, parcequ'à proportion que l'eau est plus ou moins comprimée, elle entre en ébullition par une température plus haute ou plus basse. On a choisi la pression qui répond à une hauteur de 28 pouces dans le baromètre, parceque c'est la pression moyenne, ou celle qui a lieu communément aux bords de la mer.

Il est aisé de voir maintenant que les deux limites étant les mêmes dans différens thermomètres construits d'après ces principes, et les degrés de l'échelle, dans tous ces thermomètres, étant des parties proportionnelles à la distance entre les deux limites, les indications données par les mouvemens de la liqueur se rapporteront entre elles, quelle que soit d'ailleurs la

distance dont il s'agit. La graduation deviendra ainsi comme une langue de commerce entre tous les thermomètres; ensorte que si deux de ces instrumens placés, l'un à Paris, l'autre à Amsterdam, indiquent le même degré, on sera sûr que la température est la même dans les deux endroits, et que s'ils marquent différens degrés, chacun d'eux parlera précisément comme aurait fait l'autre dans la même position.

Mercure préférable à l'Alkohol, pour la construction du Thermomètre.

253. On s'est servi pendant long-temps d'alkohol, ainsi que l'avait fait Réaumur, pour avoir une colonne de liquide, dont les élévations ou les abaissemens indiquassent les diversités de la température. Nous avons décrit (251) le procédé, à l'aide duquel le même physicien s'était efforcé de remédier à l'inconvénient qu'a cette substance de varier, dans sa pureté et dans sa densité, suivant les différens procédés que l'on emploie pour l'obtenir. Mais on ne pouvait pas assez compter sur l'exactitude de ce procédé, d'ailleurs incommode par les tâtonnemens qu'il exigeait. Ainsi les thermomètres, à cet égard, laissaient de l'incertitude sur l'accord qui devait régner entre eux. Mais l'alkohol a un autre inconvénient, qui avait échappé aux observateurs; il consiste en ce que la marche du thermomètre construit avec ce liquide n'est pas conforme à celle de la température, ensorte que les dilatations progressives de ce même liquide marquent des degrés sensiblement inégaux, pendant des variations égales de température; et ici revient la première des conditions dont nous avons parlé (250), et sans laquelle chaque thermomètre cesse d'être comparable avec lui-même. Il nous reste à faire voir que le mercure remplace avantageusement l'alkohol sous tous les rapports.

Il est d'abord facile de concevoir que ce métal liquide, lorsqu'il a été purifié, est partout homogène et d'une densité uniforme. On a de plus reconnu que sa marche, dans le thermo-

mètre, offrait des différences sensibles avec celle de l'alkohol, et le célèbre Deluc a fait des expériences qui lui ont paru prouver que ces différences provenaient de ce que l'alkohol subissait des anomalies dont le mercure était à-peu-près exempt. Dans ces expériences, il mêlait ensemble deux masses égales d'eau, ayant des températures différentes, l'une par exemple de 75$^{d.}$ du thermomètre en 80 parties, l'autre de 6$^{d.}$ qui était en même temps celle de l'air environnant. La température que devait prendre le mélange était, suivant le même physicien, la moyenne entre les températures des deux masses séparées, c'est-à-dire, qu'elle était égale à la demi-somme 40$^{d.}$ $\frac{1}{2}$ des températures extrêmes. Or Deluc ayant plongé dans le mélange un thermomètre à mercure qui avait servi à déterminer les températures particulières des deux masses d'eau, remarqua que l'instrument indiquait une température qui ne différait de la moyenne qu'en ce qu'elle était un peu au-dessous.

254. Mais l'expérience que l'on prenait ici pour juge du thermomètre à mercure, péchait par le défaut de précision. Pour le concevoir, remarquons que l'eau chaude, dans ce cas, n'arrive à l'équilibre de température avec l'eau froide, qu'en cédant à celle-ci la moitié du calorique qui détermine la différence de 69$^{d.}$ entre les deux températures. Or nous sommes fondés à croire que la partie de cette même moitié qui sert à dilater l'eau froide, est plus grande que celle qui, par sa retraite, a occasionné la contraction de l'eau chaude (1). Il faut donc que réciproquement la partie dont le dégagement donne

(1) La portion de calorique dont le dégagement détermine l'eau chaude à se contracter, est égale à celle qui, en partant du dernier terme de la contraction, remettrait cette eau dans son premier état de dilatation. Or l'affinité des molécules de cette même eau opposerait moins de résistance à la force dilatante de la portion de calorique dont il s'agit, que l'affinité des molécules de l'eau froide n'en oppose à la force du calorique qui sert à la dilater, parcequ'à une plus basse température les molécules aqueuses sont moins écartées les unes des autres. Donc la portion de calorique dont la perte occasionne la contraction de l'eau chaude doit être moindre que celle qui agit pour dilater l'eau froide.

lieu au refroidissement de l'eau chaude soit plus grande que celle qui est employée à échauffer l'eau froide, puisque la somme des deux parties est égale à la quantité de calorique qui a passé de l'eau chaude dans la froide. Donc la température de la première baisse davantage que celle de la seconde ne s'élève, d'où il suit que la température du mélange doit être au-dessous de la moyenne.

255. Le celèbre Laplace a trouvé dans le thermomètre à air le véritable terme de comparaison qui devait servir à vérifier la marche du mercure (1). Supposons qu'une masse d'air reçoive successivement de nouvelles quantités de calorique, et qu'en même temps on la tienne resserrée dans l'espace qu'elle occupait. Il est extrêmement probable que les accroissemens de sa force élastique seront proportionnels aux élévations de sa température, puisque l'une et l'autre dépendent de l'action du calorique. Or si l'air, au lieu d'être coërcé dans le même espace, a la liberté de s'étendre, en restant soumis à une pression constante, ses dilatations seront proportionnelles aux accroissemens que recevrait sa force élastique, dans l'hypothèse de l'uniformité de volume; d'où il suit qu'elles seront aussi en rapport avec les élévations de la température, ce qui est le caractère d'un thermomètre toujours d'accord avec lui-même.

Voici maintenant de quelle manière M. Gay-Lussac, sur l'invitation de M. Laplace, a comparé la marche du thermomètre à mercure, avec celle du thermomètre à air. Ayant choisi un tube de verre exactement calibré, terminé en boule d'un côté et ouvert de l'autre, il a introduit dans son intérieur une goutte de mercure, qui s'est trouvée ainsi soumise d'une part à la pression de l'air renfermé dans la partie du tube située au-dessous d'elle et dans la boule, et d'une autre part à la pression de l'atmosphère. A mesure que l'air intérieur variait dans sa température, les mouvemens de la goutte de mercure faisaient connaître la quantité dont il s'était dilaté ou contracté.

(1) Traité de Mécanique Céleste, t. IV, préface, p. 21.

L'appareil destiné aux expériences était un vase rempli d'eau dans laquelle le tube se trouvait plongé horizontalement, de manière que sa partie située vers l'orifice ouvert était saillante hors du vase, au moyen d'un trou circulaire pratiqué à la paroi latérale. On a d'abord déterminé, relativement à l'air renfermé dans le tube, le terme de la glace fondante et celui de l'eau bouillante, et l'on a fait la même opération sur un thermomètre à mercure. On a divisé ensuite, dans chaque thermomètre, en deux parties égales, l'intervalle entre les deux limites, ce qui a donné de part et d'autre le degré 50 de la division en 100 parties.

Or les deux thermomètres plongés dans le même bain d'eau que l'on avait fait chauffer progressivement, indiquèrent à la fois ce degré, avec de légères différences, qui, dans vingt expériences successives, se trouvèrent tantôt en plus et tantôt en moins, et donnèrent une quantité presque nulle pour résultat moyen. On doit en conclure que la marche des deux thermomètres est la même, au moins depuis zéro jusqu'au terme de l'eau bouillante, et ainsi le thermomètre à air, dont l'exactitude est comme garantie par la nature même de ce fluide, mais dont l'exécution serait d'ailleurs difficile, sert à son tour de garant au thermomètre à mercure ; et il est heureux que ce métal déjà si remarquable par l'action du calorique, pour le tenir dans un état de liquidité habituelle, le soit doublement, par la régularité avec laquelle cette action s'exerce pour le dilater.

256. D'après tout ce que nous venons de dire, il est à desirer que l'usage des thermomètres à mercure devienne général; on n'emploierait le thermomètre à alkohol que dans le cas où l'on voudrait faire des observations par un froid artificiel plus grand que celui de 32$^{d.}$, qui détermine la congélation du mercure. À l'égard de ce dernier effet, nous nous réservons à l'exposer, lorsque nous parlerons de la congélation de l'eau, qui est accompagnée de circonstances, dont le contraste avec celles que présente le mercure dans le même cas, nous ont engagés à réunir les deux phénomènes sous un même point de vue.

Remarque sur l'air qui pourrait rester dans le tube de l'Instrument.

257. Quelques physiciens ont pensé que quand on laissait de l'air entre la liqueur du thermomètre et le haut du tube, les dilatations de ce fluide, par l'action de la chaleur, opposaient à celles du mercure ou de l'alkohol, un obstacle qui altérait la régularité de ces dernières. Cependant l'observation fait voir que cet obstacle est nul, et la théorie seule indique qu'il doit l'être; car l'air ne pourrait agir, dans ce cas, sur les liquides, que comme force comprimante. Or on sait que les liquides résistent sensiblement à la compression, et cette résistance a lieu également à toutes les températures; et parceque les fluides, au contraire, se laissent comprimer avec beaucoup de facilité, ce sera le mercure ou l'alkohol qui forcera l'air de se contracter et de lui céder la place.

Thermomètres de Fahreinheit et de Delisle.

258. On trouve fréquemment dans les ouvrages des physiciens étrangers, des résultats d'observations relatives à deux autres thermomètres, dont il ne sera pas inutile de donner ici une notion, pour mettre chacun à portée de traduire leur langage en celui du thermomètre en usage parmi nous.

Le premier est le thermomètre de Fahrenheit, qui est à mercure, et qui a pour termes fixes le degré de la congélation forcée par le muriate ammoniacal, et celui qui répond à la chaleur de l'eau bouillante. L'intervalle entre ces deux termes est divisé en 212 parties; il en résulte que le 32ᵉ degré coïncide avec le zéro de notre thermomètre, ce qui donne 180ᵈ· depuis ce même terme jusqu'à celui de l'eau bouillante. Ainsi, 9 degrés de Fahrenheit valent 4 degrés du thermomètre divisé en 80 parties, et 5 degrés du thermomètre centigrade; ce qui suffit pour faire le rapprochement entre les résultats donnés par les deux instrumens.

259. L'autre thermomètre est celui de Delisle, dans lequel ce physicien employait aussi le mercure ; il n'avait qu'un seul terme fixe ; savoir, celui de la chaleur de l'eau bouillante, où était placé le zéro. Les degrés de condensation au-dessous de ce terme étaient des dix millièmes de la capacité de la boule et de la partie du tube qui se terminait au zéro. Le degré auquel se rapportait la température de la glace fondante, et qui correspond à notre zéro, était le 150e de l'échelle descendante sur le thermomètre de Delisle ; d'où il suit que 15d. de ce thermomètre répondent à 8d. du thermomètre divisé en 80 parties, et à 10d. du thermomètre centigrade ; ensorte qu'à l'égard de ce dernier, le rapport réduit à sa plus grande simplicité est celui de 3 à 2.

Les recherches multipliées entreprises par les physiciens, dans la vue de perfectionner le thermomètre, suffiraient seules pour prouver le mérite de cet instrument. Il a servi à nous dévoiler une multitude de faits intéressans. Sa présence est indispensable dans une infinité d'expériences, pour comparer les températures des corps que l'on emploie, ou déterminer les changemens qui surviennent dans celle qu'ils avaient primitivement. Il est souvent utile d'avoir recours à ses indications pour connaître la chaleur qui convient à la chambre d'un malade, à l'eau d'un bain, à une étuve, à une serre chaude, soit qu'on veuille hâter la végétation des plantes indigènes, ou conserver les plantes étrangères. C'est, pour ainsi dire, un instrument de société, que chacun se plaît à interroger sur un point aussi important que les variations qu'éprouve la température du fluide au milieu duquel nous vivons ; et lorsque ces variations s'étendent beaucoup au-delà des limites ordinaires, l'indication du thermomètre devient d'un intérêt général : le récit que chacun fait de ce qu'il a observé sur le sien, est un des sujets qui s'emparent le plus promptement des conversations familières.

9. Des Vapeurs, et de leur mélange avec les Gaz.

260. Il serait difficile de citer un phénomène plus général et plus étendu, que celui de la diminution de volume que subissent les liquides exposés à l'air. Toutes les eaux stagnantes, toutes celles que leur cours transporte d'un lieu à l'autre, laissent continuellement échapper des molécules qui s'élèvent de tous les points de leur surface, et dont l'atmosphère devient comme le réservoir. Ce phénomène que l'on a nommé *évaporation*, se répète même, à chaque instant, sous nos yeux, au milieu des soins qu'entraînent les besoins ou les commodités de la vie; et il n'est personne qui n'ait remarqué qu'on l'accélère par l'action de la chaleur, ou en multipliant les points de contact du liquide avec l'air, et que pour l'arrêter et fixer, en quelque sorte, le volume du liquide, il ne faut que fermer exactement le vase qui contient ce dernier.

Le developpement de ce sujet qui, dans le progrès des découvertes modernes, embrasse les mélanges de toutes les vapeurs avec tous les gaz, nous paraît d'autant mieux placé ici, comme branche de la théorie du calorique, que l'action de ce fluide suffit seule à l'hypothèse qui explique les phénomènes de la manière la plus vraisemblable. Mais avant de nous occuper de cette explication, il est nécessaire d'exposer les résultats des observations et des expériences faites par les physiciens qui ont le mieux étudié la marche et les circonstances de l'évaporation.

Résultat constant qu'offre la formation des Vapeurs.

Nous avons déjà eu occasion d'ébaucher le tableau de ce qui se passe dans ce cas, en prenant l'eau pour exemple. Nous avons vu qu'à toutes les températures il se forme

une certaine quantité de vapeur aqueuse, dont les molécules écartées les unes des autres par la force élastique du calorique, et se trouvant dans le même cas que si elles se repoussaient mutuellement, s'élèvent dans l'air, à la faveur des nombreux interstices que les molécules de ce dernier fluide laissent entre elles. Nous avons dit que l'action du calorique pour produire l'évaporation est plus ou moins balancée par la résistance de l'air, jusqu'à une certaine limite, passé laquelle cette résistance étant entièrement vaincue, le liquide entre en pleine ébullition, et la température qui jusqu'alors s'était élevée, à mesure que le liquide s'échauffait, se fixe à 80$^{d.}$ de Réaumur ou à 100$^{d.}$ du thermomètre centigrade, sous la pression moyenne de l'atmosphère (195 et 196).

261. Or la vapeur qui se forme paisiblement à toutes les températures inférieures, ne diffère point en elle-même de celle que produit l'eau bouillante à l'air libre ; elle n'est pas non plus distinguée de celle qui se développe pendant l'ébullition qui a lieu dans le vide, à une température quelconque.

262. Mais ici se présente un nouveau point fixe, d'autant plus remarquable, qu'il doit compter pour beaucoup parmi les données que l'observation fournit à la théorie. Il consiste en ce que la quantité de vapeur qui se forme dans un espace et à un degré de température déterminés, est constamment la même, soit que cet espace se trouve occupé par un air plus ou moins dense, ou par un gaz quelconque, soit qu'on y ait fait le vide. Ainsi, d'après les expériences de Saussure, la vapeur qui se développe dans un pied cube d'air, à la température de 15$^{d.}$ de Réaumur, forme un poids d'environ 10 grains. Que l'on change la densité de cet air, qu'on le remplace par un autre gaz, qu'on le supprime même sans lui rien substituer, il y aura toujours dix grains d'eau employés à fournir la quantité de vapeur, qui se répandra dans le même espace, en supposant que la température soit encore de 15$^{d.}$ de Réaumur.

263. Pour parvenir au résultat que nous venons d'exposer, Saussure se servait d'un ballon de verre, dont il avait mesuré exactement la capacité ; il laissait entrer de l'air qu'il dessé-

chait le plus qu'il était possible, puis il introduisait dans cet air un linge imbibé d'une quantité d'eau dont il avait évalué le poids. Un hygromètre (1) était placé dans le même ballon, et le moment où il avait atteint le *maximum* d'humidité, faisait connaître que l'eau dont le linge était imbibé avait fourni toute la quantité de vapeur que l'air du ballon pouvait contenir, à la température indiquée par un thermomètre, qui avait aussi sa place dans l'intérieur du ballon ; après quoi il ne restait plus qu'à évaluer la perte que l'eau avait éprouvée, et à la diviser par le nombre de pieds cubes, qui représentait la capacité du ballon (2).

Un troisième instrument, savoir un manomètre (3), que contenait encore le ballon, servait en même temps à constater un autre fait non moins intéressant, c'est que la présence de la vapeur augmente l'élasticité de l'air. Dans l'expérience dont nous avons cité le résultat, l'air desséché faisait équilibre, par son ressort, à la pression d'une colonne de mercure d'environ 27 pouces, et, après la formation de la vapeur, la hauteur de

(1) Cet instrument, dont nous donnerons dans la suite la description, est destiné à indiquer les différens degrés d'humidité de l'air, d'après l'alongement que subit un cheveu, ensorte que quand cet alongement est le plus grand possible, on juge que l'air est parvenu à son point de saturation, relativement à l'eau.

(2) Essais sur l'Hygrométrie, numéros 97 et suiv.

(3) Ce mot est une espèce de surnom donné au baromètre, et relatif à un usage particulier de cet instrument. Nous dirons ici, par anticipation, que le baromètre est composé principalement d'un tube de verre d'environ 80 centimètres ou 30 pouces de hauteur, fermé par le haut, et dans lequel s'élève une colonne de mercure, qui y est soutenue par la pression que l'atmosphère exerce sur elle en vertu de son poids. A mesure que ce poids augmente ou diminue, la colonne s'alonge ou se raccourcit : de là le nom de *baromètre*, qui signifie *mesure du poids*. Maintenant si l'on suppose le baromètre renfermé dans un espace où l'air soit coërcé, ce fluide n'agira plus que par son ressort sur la colonne de mercure, qui s'alongera ou se raccourcira, suivant que la force élastique de l'air augmentera ou diminuera. Dans ce cas, l'instrument prend le nom de *manomètre*, qui signifie *mesure de la rareté*, parceque le ressort de l'air varie, suivant que ce fluide est plus ou moins rare.

la colonne était de 27 pouces 6 lignes. Saussure conclut de cette observation, que la vapeur répandue dans l'air soumis à l'expérience, était un fluide élastique capable seul de faire équilibre à une pression mesurée par l'accroissement d'élasticité qu'il communiquait à l'air, ou, ce qui revient au même, mesurée par six lignes de mercure, ensorte que dans le vide, l'élasticité de la vapeur aurait fait monter réellement le manomètre de cette quantité.

D'autres expériences ont prouvé que le poids de l'eau employée à fournir la vapeur est constamment le même, à égalité d'espace, par un même degré du thermomètre, quelle que soit la densité de l'air dans lequel la vapeur est répandue. La température détermine seule la quantité de cette vapeur; elle l'augmente en s'élevant, et la diminue en s'abaissant.

264. Ceci exige quelques éclaircissemens, pour bien concevoir cette relation entre les degrés de la température et les quantités correspondantes de vapeur qu'admet un espace donné. Imaginons que cet espace étant d'abord rempli d'air sec, se trouve situé au-dessus d'une masse d'eau, à une température quelconque, qui soit la même par rapport à l'air : au moment où les molécules de l'eau se détachent de la surface de ce liquide, pour se convertir en vapeurs, leurs distances respectives n'excèdent pas encore le rayon de leur sphère d'activité sensible; et il paraît que, même après la formation de toute la vapeur que comporte l'espace dont il s'agit, la quantité dont elles s'écartent les unes des autres est un peu moindre que le même rayon. Pendant que la vapeur se forme, le calorique situé sous la surface de l'eau agit par son élasticité pour soulever la couche extérieure de ce liquide; or l'effet de cette élasticité est diminué par l'affinité de la même couche pour l'eau située au-dessous d'elle. D'une autre part, le calorique interposé entre les molécules de la vapeur déjà formée agit sur elles par sa force élastique, et l'effet de cette force peut être considéré comme une pression que la vapeur exerce sur l'eau encore liquide. Or cette même force est aussi diminuée par l'affinité de la vapeur pour elle-même. Désignons par C la force élas-

tique du calorique renfermé dans l'eau, par F l'affinité réciproque des molécules de ce liquide, par *c* la force élastique du calorique interposé dans la vapeur, et par *f* l'affinité réciproque des molécules de cette vapeur. Nous pouvons représenter par C moins F la force du calorique renfermé dans l'eau pour produire de nouvelle vapeur, et par *c* moins *f* la pression que la vapeur déjà produite exerce sur l'eau encore liquide, et il est évident que la formation de la vapeur s'arrêtera au terme où il y aura équilibre entre C moins F et *c* moins *f*.

Les choses étant dans cet état, supposons que la température de tout le système s'élève d'un certain nombre de degrés, et qu'en même temps l'espace qui renferme la vapeur diminue. L'élasticité du calorique interposé entre les molécules de la vapeur se trouvant augmentée par l'élévation de température, permettra à ces molécules de se rapprocher sans se réduire en eau, quoique alors elles s'attirent davantage les unes les autres. Par une suite nécessaire, la pression de la vapeur sur l'eau encore liquide s'accroîtra, tandis que d'une autre part le calorique enfermé dans cette eau agira avec plus d'énergie pour en soulever la couche extérieure. On peut donc concevoir que telle soit la diminution d'espace, qu'il s'établisse un nouvel équilibre entre les actions auxquelles l'eau liquide et la vapeur sont soumises, c'est-à-dire entre C Moins F et c moins *f*. Maintenant si l'on suppose l'espace constant, il est visible que pendant l'élévation de température, il se formera de nouvelle vapeur, dont les molécules s'intercaleront entre celles de la première, jusqu'à ce que la densité soit la même dans l'hypothèse de la diminution d'espace, c'est-à-dire que la température en s'élevant détermine une augmentation dans la quantité de vapeur que comporte un espace donné.

Les parois du vase qui contient la vapeur, opposent à la force élastique de celle-ci une réaction égale à la force du calorique renfermé dans l'eau, moins à l'affinité de l'eau pour elle-même; d'où il suit que si l'on suppose que, l'équilibre étant établi, le vase se ferme de tous les côtés, l'équilibre subsistera encore. Dans ce cas, la continuation du vase, à

l'endroit qui était occupé par l'eau, est censée remplacer la dernière couche de ce liquide.

265. Les choses auront lieu de la même manière, si l'on suppose que l'espace que nous considérons ici soit purgé d'air, excepté que la formation de la vapeur étant plus rapide, l'équilibre s'établira plus tôt. La résistance de l'air n'est qu'un obstacle en quelque sorte mécanique, qui, étant censé nul à tous les endroits où ce fluide laisse des interstices libres, permet aux molécules de vapeur de s'élever, comme elles feraient dans le vide, ensorte qu'elles s'y placent aux mêmes distances respectives, et exercent la même pression sur l'eau encore liquide, que si l'air n'existait pas. Ceci s'éclaircira encore par les détails que nous donnerons dans la suite.

266. Faisons maintenant varier l'espace en laissant subsister la température, et imaginons pour plus grande simplicité, que cet espace soit encore purgé d'air, et qu'il n'y ait que la vapeur qui l'occupe. Si l'on suppose qu'il se trouve diminué, par exemple, de moitié, alors la moitié des molécules de la vapeur subiront un rapprochement, qui donnera lieu au dégagement d'une partie du calorique interposé entre elles, ensorte qu'elles se réduiront en eau. Ce n'est pas que la diminution d'espace ne produise dans toutes les molécules une tendance à se rapprocher. Mais si cette tendance avait son effet, le résidu de l'espace demeurerait vide, et aussitôt il s'y formerait une nouvelle quantité de vapeur égale à la moitié de celle qui occupait primitivement la totalité de l'espace. Cette quantité de vapeur se conservera donc, par une suite de ce qu'elle ne pourrait être détruite sans renaître à l'instant.

Au lieu de diminuer l'espace, augmentons le, par exemple, du double. L'eau que nous supposons placée au-dessous, en restant toujours à la même température, recommencera à fournir de la vapeur, de manière que la quantité primitive se trouvera aussi doublée, en conservant la même densité qu'auparavant. Mais si la vapeur est coërcée de tous les côtés en même temps que l'espace augmente, ses molécules s'écarteront les unes des autres pour continuer de le remplir, et il y aura un

un terme où elles parviendront à des distances mutuelles plus grandes que le rayon de leur sphère d'affinité sensible. Si l'espace revient à ses dimensions primitives, les molécules de la vapeur se rapprocheront, en reprenant leurs premières distances respectives, sans qu'aucune partie se réduise en eau. Pour que ce dernier effet eût lieu, il faudrait que l'espace diminuât dans un plus grand rapport que celui de son augmentation précédente.

267. Ainsi l'on doit concevoir que l'écartement entre les molécules de la vapeur répandue dans un espace donné, est moindre que le rayon de leur sphère d'affinité sensible, toutes les fois que la quantité de cette vapeur est égale à celle qui peut se former librement dans le même espace. Ce terme peut être regardé comme celui de la saturation de l'espace dont il s'agit, ou de l'air qui s'y trouve renfermé, pour le degré auquel s'élève la température de la vapeur. On a désigné celle-ci, dans le même cas, sous le nom de *vapeur naissante*, pour la distinguer de la vapeur proprement dite, dont les molécules étant à des distances respectives plus grandes que le rayon de leur sphère d'affinité sensible, ne sont plus soumises à d'autre force que l'élasticité du calorique.

Loi de la Dilatation des Gaz, par leur union avec les Vapeurs.

268. Il suit de ce qui a été dit plus haut, qu'une masse d'air saturée d'eau en vapeur à 15$^{d.}$, exige une pression de 27 pouces $\frac{1}{2}$, pour continuer d'être resserrée dans l'espace, où une pression de 27 pouces aurait suffi auparavant pour la maintenir. Concevons donc qu'elle ne soit encore chargée que de cette dernière pression. L'air dont la force élastique se trouve augmentée par son union avec la vapeur, subira une dilatation, qui fera croître son volume, jusqu'à ce que son ressort ne soit plus capable que de faire équilibre à la pression de 27 pouces dont il est chargé.

269. Ceci nous conduit à exposer les résultats d'une suite de recherches entreprises par le célèbre Dalton, et qui donnent une grande extension à celles de Saussure. Le but de ces recherches est de déterminer la quantité dont les gaz se dilatent par leur union avec les vapeurs; car ici le phénomène que présente l'air n'est encore qu'une modification particulière d'une loi commune à laquelle sont soumises toutes les substances gazeuses, ensorte que ce fluide, après avoir été l'unique objet des expériences de ce genre, n'est plus distingué que par la facilité de pouvoir être pris pour exemple.

270. Voici en quoi consiste le problême que Dalton s'est proposé de résoudre : on suppose une masse d'un gaz quelconque, soumise à une pression déterminée, et située au-dessus d'nn liquide dont la température est donnée; connaissant la force de la vapeur que produit le liquide à cette même température, on veut savoir dans quel rapport s'accroîtra le volume du gaz par le mélange de la vapeur.

271. Dans les expériences relatives à ce sujet (1), Dalton se sert d'un tube de verre droit, fermé à une extrémité, et divisé en parties égales. Il introduit au fond de ce tube quelques gouttes du liquide, qu'il veut soumettre à l'évaporation, et renferme dans le même tube un gaz, qu'il charge d'une colonne de mercure plus ou moins haute, selon l'objet qu'il a en vne. Il plonge ensuite l'extrémité fermée du tube dans une eau dont la température est connue, puis il détermine, d'après l'ascension de la colonne de mercure, l'expansion du gaz, à mesure que la vapeur agit sur lui, pour écarter ses molécules.

272. Concevons que la pression à laquelle le ressort du gaz; que nous supposerons être l'air commun, fait d'abord équilibre, soit égale à celle d'une colonne de mercure de 27 pouces, et que la vapeur, qui sera, par exemple, celle de l'eau, soit capable de soutenir seule nne pression de 6 lignes, la température étant de 15d. de Réaumur. A mesure que la vapeur s'élevera dans l'air, ce dernier fluide se dilatera, et, pendant tout le

(1) Bibliothèque Britannique, n° 160, vol. xx, p. 338 et suiv.

temps de sa dilatation, il se formera une nouvelle quantité de vapeur proportionnelle à l'augmentation de volume, de manière que la force élastique de la vapeur sera constamment égale à une pression de 6 lignes. Or, au terme où la dilatation s'arrêtera, le ressort de l'air, diminué par cette même dilatation, joint au ressort constant de la vapeur, fera de nouveau équilibre à la pression de 27 pouces, c'est-à-dire que le ressort de l'air, qui d'abord était exprimé par cette même quantité de 27 pouces, ne le sera plus que par 26 pouces 6 lignes. Donc, puisque les volumes sont en raison inverse des forces de ressort, le volume de l'air, après la dilatation, sera au volume primitif comme 27 est à $26\frac{1}{2}$, ou comme 54 est à 53, et en d'autres termes, comme la force de ressort de l'air, dans son état primitif, est à la différence entre cette même force et celle de la vapeur (1). Ce résultat est celui auquel conduit l'expérience de Saussure.

Supposons que la pression dont le gaz est chargé, ou ce qui est la même chose, la force de ressort de ce gaz, avant l'expérience, ne soit que de 20 pouces, et que celle de la vapeur soit de 10 pouces; le volume du gaz, après la dilatation, sera au volume primitif, comme 20 est à 20 moins 10, ou comme 20 est à 10, c'est-à-dire que le volume du gaz se trouvera doublé.

Lorsque la force constante de la vapeur est égale à la force

(1) Soit P la pression que soutenait l'air avant l'expérience, ou, ce qui revient au même, la force de ressort qu'avait alors ce fluide; P′ la pression que la vapeur seule est capable de soutenir, ou sa force de ressort; V le volume primitif du gaz, et V′ le volume après la dilatation. Dans ce dernier cas, la force de ressort de l'air se trouvera réduite à P—P′, et puisque les volumes sont réciproques aux forces de ressort, on aura $V' : V :: P : P - P'$, d'où l'on tire $V' = \frac{VP}{P - P'}$, et $V' = V + \frac{VP'}{P - P'}$, ce qui est la formule de Dalton. Pour l'appliquer à l'exemple cité, on fera $V = 1$, $P = 27$, $P' = \frac{1}{2}$, ce qui donne $V' = \frac{27}{27 - \frac{1}{2}} = \frac{54}{53}$.

primitive du gaz, elle détruit à chaque instant l'effet de la pression que soutenait le gaz, ensorte que la dilatation n'a plus de terme, et s'étend à l'infini (1).

273. On voit, par ce qui précède, que dans l'union d'une vapeur avec un gaz, l'élasticité du mixte est la somme des élasticités qu'auraient les composans, si chacun d'eux occupait seul l'espace rempli par le mixte. Ainsi, dans l'expérience de Saussure (263), l'élasticité du mixte, dont l'expression est 27, se compose d'une force exprimée par $26\frac{1}{2}$, qui est celle de l'air, eu égard à son état actuel de dilatation, et d'une autre force exprimée par $\frac{1}{2}$, qui est celle de la vapeur répandue dans le même espace.

Pesanteur spécifique de la Vapeur comparée à celle de l'Air.

274. Donnons un nouveau développement au résultat qui vient d'être cité, pour en déduire l'explication d'un fait observé par différens physiciens, savoir, que la pesanteur spécifique de l'air diminue, à mesure que ce fluide se charge d'une plus grande quantité de vapeur. Nous avons dit (263) que celle qui est répandue dans un pied cube, à la température de $15^{d.}$, forme un poids de 10 grains, et qu'en même temps son ressort fait équilibre à 6 lignes de mercure. Or un pied cube d'air qui, à la même température, soutient une pression de 27 pouces, pèse 751 grains. Supposons que cet air n'ait à supporter qu'une pression de 6 lignes. Il se dilatera dans un espace, qui sera à l'espace primitif comme 27 pouces est à 6 lignes, ou comme 54 est à 1; et parceque les densités, à égalité de masse, sont en raison inverse des volumes, la densité de l'air, après la dilatation, ne sera plus que $\frac{1}{54}$ de sa densité primitive, d'où il suit que le poids d'un pied cube de cet air dilaté serait de $\frac{751}{54}$ grains

(1) Dans ce cas $P = P'$, et la formule devient $V' = \frac{P}{0}$, quantité infinie.

ou de 14 grains à-peu-près. Ainsi la pesanteur spécifique de l'air, est à celle de la vapeur, comme 14 est à 10, la température et la pression étant supposées être les mêmes de part et d'autre (1); d'où nous conclurons que quand l'air se dilate par l'action d'une vapeur qui se mêle avec lui, son volume s'accroît dans un rapport plus grand que celui de l'augmentation de masse. Newton, dans ses *Questions d'Optique*, où l'on trouve une foule d'apperçus, qui sont comme des germes précieux dont le développement était réservé à d'autres temps, remarque que le véritable air est plus pesant que les vapeurs, et qu'une atmosphère humide est plus légère qu'une atmosphère sèche, à quantités égales (2).

Accord de la théorie avec l'observation, sur la capacité de l'Air pour la Vapeur.

275. Saussure avait déterminé, par une observation immédiate, la quantité de vapeur contenue dans un pied cube d'air, à la température de 15$^{d.}$. Le célèbre Laplace a conçu l'idée de considérer cette même quantité comme l'inconnue d'un problème, dont le but serait d'en trouver la valeur, en prenant pour donnée le résultat que Gay-Lussac a obtenu, par rapport à la dilatation des fluides élastiques.

La vapeur que contient un pied cube d'air, à 15$^{d.}$ du thermomètre, est dans le même état que si elle occupait seule cet espace, sous une pression de six lignes de mercure et à la même température (263). Or on sait qu'à une température de 80$^{d.}$ et sous une pression de 28 pouces de mercure, la vapeur de l'eau est environ 1600 fois plus légère que l'eau liquide. Un pied cube de celle-ci pèse 70 livres; d'où il suit que le poids d'un pied cube de vapeur aqueuse, à 80$^{d.}$ et sous une pression de 28 pouces,

(1) Essais sur l'Hygrométrie, n° 288.

(2) Optice lucis, lib. III, quæst. 31.

est de $\frac{70 \text{ liv.}}{1600}$. Supposons que cette quantité de vapeur, en restant toujours à une température de $80^{d.}$, ne soutienne plus qu'une pression de 6 lignes; son nouveau volume sera au volume primitif dans le rapport inverse des pressions, c'est-à-dire comme 28 pouces est à 6 lignes, ou comme 56 est à l'unité. Donc, après la dilatation, un pied cube de cette vapeur ne pèsera plus que $\frac{70 \text{ liv.}}{56.\ 1600}$ ou $\frac{1}{1280}$ de livre.

Mais ce volume étant calculé d'après la supposition d'une température de $80^{d.}$, il faut le ramener à ce qu'il serait par une température de $15^{d.}$, qui est celle qu'avait la vapeur de l'eau, dans l'expérience de Saussure. Or Gay-Lussac a trouvé que les gaz se dilatent de $\frac{80}{213}$ de leur volume (236), en passant de la température de la glace à celle de l'eau bouillante; d'où il suit que si l'on se contente d'un à-peu-près, on pourra supposer la dilatation de $\frac{1}{213}$ du volume, pour chaque degré de chaleur. Donc le volume d'une quantité de vapeur dont la température est de $15^{d.}$, est à celui de la même quantité à $80^{d.}$, comme $1 + \frac{15}{213}$ est à $1 + \frac{80}{213}$, ou comme 228 est à 293. Donc puisque les densités sont en raison inverse des volumes, pour une même quantité de matière, la densité de la vapeur à $15^{d.}$ est à celle de la vapeur à $80^{d.}$ comme 293 est à 228. Donc enfin, puisque les poids, à volume égal, sont proportionnels aux densités, le poids d'un pied cube de vapeur à $15^{d.}$ sera à $\frac{1}{1280}$ de livre, qui est le poids du même volume à $80^{d.}$, comme 293 à 228, ce qui donne pour le poids d'un pied cube de vapeur à $15^{d.}$, $\frac{293 \text{ liv.}}{228.\ 1280}$, ou environ $9^{gr.}$, 3 (1), résultat peu différent de celui de Saussure; et tel est l'avantage des expériences même

(1) Voyez dans le Bulletin des Sciences de la Société Philomatique, ventôse an XI, p. 189, un article de Biot, où ce savant géomètre, après avoir exposé les résultats et la théorie de Dalton, donne le calcul relatif au rapprochement dont il s'agit.

isolées, quand elles sont bien faites, qu'elles n'attendent que les théories pour se rallier autour d'elles.

Différence entre l'effet de la pression sur la Vapeur quand celle-ci est seule, et quand elle est unie à l'Air.

Nous allons maintenant comparer les effets de la pression par rapport à la vapeur considérée dans le vide, avec ceux qui ont lieu lorsqu'elle est unie à l'air. Cette comparaison nous conduira, pour ainsi dire, à l'endroit par lequel la théorie doit aborder ce sujet délicat, pour essayer de pénétrer jusqu'à la cause des phénomènes qu'il présente.

276. Supposons donc d'abord une vapeur contenue dans un espace purgé d'air, et chargée de la pression à laquelle son ressort est capable de faire équilibre, par la température actuelle. Si l'on augmente la pression, et que la cause qui produit celle-ci agisse à la manière d'un piston, les molécules de la vapeur se rapprocheront successivement les unes des autres, à mesure que l'espace diminuera, et la vapeur se réduira toute entière en eau.

Dans le même cas, si l'on arrête la pression à un certain terme, ensorte, par exemple, que l'espace soit seulement diminué de moitié, il n'y aura qu'une moitié de la vapeur qui se réduise en eau; l'autre moitié restera à la même tension dans la partie de l'espace que la pression n'aura point atteinte (266).

277. Ces effets sont très-sensibles dans les résultats d'une expérience qui a pour auteurs Laplace et Lavoisier, et dont le but était de montrer avec quelle force l'éther se dilate, en s'évaporant dans le vide. Parmi les différens procédés que l'on peut employer pour la répéter, en voici un qui est simple, et qui a été imaginé par Van-Marum (1). On prend un tube de baro-

(1) Description de quelques appareils chimiques, etc., Harlem, 1798, p. 97 et suiv.

mètre que l'on remplit d'abord entièrement de mercure, tandis que l'extrémité fermée est tournée vers la terre. On fait ensuite sortir de ce tube deux lignes de mercure, que l'on remplace par une égale quantité du liquide dont on veut éprouver la dilatation, puis on renverse le tube, en tenant le doigt appliqué sur l'orifice. Pendant ce mouvement, le liquide monte à travers la colonne de mercure, et va se placer dans la partie supérieure du tube. On plonge celui-ci par le bas dans un bain de mercure, on lui donne une position fixe, et on retire le doigt. A l'instant, la colonne qui occupe le tube tend par elle-même à descendre, jusqu'à ce que son poids soit en équilibre avec la pression de l'atmosphère, et aussitôt que le vide commence à se former au-dessus de sa surface supérieure, le liquide passe, en tout ou en partie, à l'état de vapeur, et celle-ci agissant par son élasticité sur la colonne de mercure, ajoute un nouvel effort à celui qu'elle fait par son poids, ensorte qu'elle se tient plus bas que dans le baromètre ordinaire. Van-Marum a observé qu'à une température de 10$^{d.}$ de Réaumur, cet abaissement est de 12 pouces $\frac{1}{2}$ ou environ 34 centimètres. La vapeur aqueuse, dans le même cas, fait descendre le mercure de $\frac{2}{5}$ de pouce ou environ 11 millimètres.

Or, si l'on enfonce plus profondément le tube dans le mercure où il est plongé, la colonne de ce métal qui en occupe l'intérieur s'y maintenant à la même hauteur, il en résulte une diminution continuelle de l'espace qui renferme la vapeur, et toutes les molécules de celle-ci perdent successivement leur état élastique, de manière qu'à la fin il ne reste plus que du liquide entre la colonne de mercure et le sommet du tube.

278. Concevons maintenant qu'un mélange d'air et de vapeur soit d'abord soumis à la pression que comporte son élasticité, et qu'ensuite on augmente cette pression. L'air se contractera d'une certaine quantité, et la portion de vapeur qui occupait l'espace abandonné par cet air, se convertira en eau. Mais parce que l'air est un fluide permanent qu'aucune force connue ne peut amener au degré de condensation où la force élastique du calorique qui écarte ses molécules céderait à leur affinité

mutuelle, la compression s'arrêtera d'elle-même, au terme où elle sera équilibrée par le ressort de l'air condensé, joint à celui de la vapeur qui aura conservé son état et sa tension dans l'espace où l'air se trouve confiné.

Imaginons, pour fixer nos idées, que la vapeur seule ait une force élastique mesurée par une pression de 38 centimètres ou de 14 pouces, et qu'il en soit de même de l'air, dans le premier moment où la pression n'a encore subi aucune augmentation. Cette pression à laquelle le mixte fait alors équilibre est de 76 centimètres ou de 28 pouces. Mais si l'on isolait les deux fluides, la pression dont il s'agit réduirait l'air à la moitié de son volume, et s'arrêterait à ce terme, où l'élasticité de l'air étant doublée avec sa densité, opposerait à la pression une résistance équivalente. D'une autre part, la même pression, en exerçant sur la vapeur une action continue, la convertirait toute entière en eau. Or dans le cas où les deux fluides sont unis, si cette union ne consistait que dans une simple juxtaposition de leurs molécules, ensorte qu'ils existassent dans le même espace indépendamment l'un de l'autre, et sans être liés entre eux par aucune action mutuelle, chacun d'eux n'opposerait à la pression de 76 centimètres que la force répulsive de ses propres molécules, qui n'est que de 38 centimètres : ainsi l'air se comprimerait jusqu'à ce qu'il fût réduit à la moitié de son volume; en même temps la moitié de la vapeur se réduirait en eau, et l'autre moitié n'éviterait le retour à l'état de liquidité, que parcequ'elle serait comme protégée par l'air, dont l'élasticité ferait obstacle à la diminution de l'espace. Or il en est tout autrement, et dès le premier instant, le mixte soutient la pression de 76 centimètres, sans qu'aucune partie de la vapeur se réduise en eau. Pour que cet effet eût lieu, il faudrait augmenter la pression, comme nous l'avons dit. En quoi consiste donc, dans le cas présent, l'influence réciproque de l'air et de la vapeur, et quel est en général le rôle que joue l'air dans l'évaporation ? c'est ici le nœud de la difficulté, et quoiqu'il ait été manié et retourné par des mains très-habiles, les physiciens ne s'accordent pas encore sur le moyen de le résoudre.

Théorie de Leroi sur l'Evaporation.

279. Si nous remontons aux plus anciennes opinions qui aient été émises sur cet objet, nous trouvons qu'elles tendaient toutes à donner au feu la principale part dans la production du phénomène. Les uns pensaient que les molécules de l'eau extrêmement divisées par le feu, et acquérant une augmentation considérable de surface, eu égard à leur volume, donnaient prise à l'air pour s'emparer d'elles, en les heurtant, et en les enveloppant dans les contours des petites spirales dont il était composé. Selon d'autres, le feu, en dilatant les molécules de l'eau, les rendait spécifiquement plus légères que l'air, ensorte que leur ascension dans ce fluide n'était qu'un phénomène ordinaire d'hydrostatique.

280. Au milieu de ce conflit d'opinions, le principe de la dissolution de l'eau par l'intermède de l'air, dont la première idée est due à Musschenbrock (1), mais qu'il s'était borné à énoncer, devint, entre les mains de Leroi de Montpellier, la base d'une nouvelle théorie de l'évaporation, qui fut d'autant mieux accueillie, qu'indépendamment de ce qu'elle avait pour elle une raison très-spécieuse d'analogie, elle tendait à faire rentrer un des plus grands phénomènes de la nature sous la puissance universelle de l'attraction (2).

281. Voici à quoi se réduit toute la doctrine de ce physicien : l'air dissout l'eau de la même manière et avec les mêmes circonstances que l'eau dissout les sels ; ensorte que comme l'eau en s'échauffant devient capable de dissoudre une nouvelle quantité de sel, et abandonne, en se refroidissant, une partie de celui qu'elle avait dissous ; ainsi, à proportion que l'air s'échauffe ou se refroidit, il lui faut plus ou moins d'eau pour arriver à son point de saturation.

(1) Essai de Physique, Leyde, 1751, t. II, p. 721.

(2) Mélanges de Physique et de Médecine, p. 1 et suiv.

Les expériences qui ont conduit le même physicien à l'adoption de ce principe, sont de celles qui se répètent spontanément tous les jours. Elles avaient été vues mille fois ; mais personne ne les avait encore regardées.

282. L'auteur exposa sur sa fenêtre une bouteille de verre blanc, exactement bouchée ; la température était alors de 20 degrés au dessus de zéro du thermomètre en 80 parties. Quelque temps après, le thermomètre étant descendu, pendant la nuit, à quinze degrés, Leroi s'apperçut qu'une partie de l'eau contenue dans l'air dont la bouteille était remplie, s'était déposée en forme de gouttelettes, sur ses parois supérieures qui, étant les plus exposées, avaient dû se refroidir les premières. Cette espèce de rosée devint beaucoup plus abondante, lorsque le thermomètre fut descendu à six degrés. L'air, en se réchauffant pendant le jour, dissolvait ensuite l'eau qui s'était précipitée pendant la nuit. Cet air représentait tout le reste de l'atmosphère ; le vase, soumis à l'expérience, ne faisait que montrer aux yeux ce qui se passait ailleurs d'une manière insensible. Cette expérience, répétée et variée avec toutes les attentions convenables pour la rendre décisive, a donné constamment des résultats analogues.

Leroi a cherché ensuite le moyen de déterminer le degré de saturation de l'air relatif à un état donné de l'atmosphère. Pour y parvenir, il versait dans un grand gobelet de cristal bien sec par dehors, de l'eau assez froide pour occasionner sur les parois extérieures, refroidies par le voisinage de cette eau, un précipité de celle qui était en dissolution dans l'air environnant; à mesure que la température de l'eau s'élevait d'un demi-degré, il versait de cette eau dans un nouveau vase, et observait le terme où le précipité s'arrêtait : ce terme indiquait le degré de saturation de l'air. L'auteur a reconnu, à l'aide de cette expérience, que la direction et la force du vent faisaient varier très-sensiblement le degré de saturation, qu'il était plus bas par le vent de nord que par celui de nord-ouest, et que dans l'un et l'autre cas, la force du vent contribuait encore à l'abaisser.

283. Cependant la comparaison faite par Leroi, de la manière dont l'air dissout l'eau, avec celle dont l'eau dissout les sels, en la supposant exacte quant au fond, ne se soutient pas sous tous les rapports. Il y aurait cette différence entre les deux phénomènes, qu'un sel qui se dissout dans l'eau passe de l'état de solidité à celui de liquidité, ensorte que sa pesanteur spécifique ne varie pas d'une quantité considérable; tandis que l'eau, en s'évaporant, passe de l'état de liquidité à celui de fluidité élastique, ce qui diminue sa densité dans un rapport plus grand que celui de mille à l'unité.

Mais les physiciens qui ont adopté la théorie dont il s'agit, ont trouvé que, considérée en elle-même, elle devait être aussi modifiée à certains égards.

284. On ignorait, à l'époque où cette théorie a paru, que la quantité de vapeur qui se forme dans l'air, à une température déterminée, est la même que celle qui serait produite dans le vide, à la même température et à égalité d'espace. On n'avait pas non plus assez considéré que la vapeur qui se forme, à toutes les températures, au-dessous du terme de l'ébullition, ne diffère que par sa densité de celle dont la formation concourt avec l'ébullition elle-même. Or la cause productrice de cette dernière vapeur, ainsi que de celle qui naît dans le vide, ne pouvait être que la force élastique du calorique, qui écartait les molécules de l'eau à des distances où leur affinité mutuelle devenait comme nulle par rapport à cette même force. On conclut de ces observations, que le calorique qui faisait tout, en l'absence de l'air, ou lorsque la température du liquide sur lequel reposait l'air était au degré de l'ébullition, concourait, avec ce dernier fluide, à l'évaporation ordinaire. Suivant l'opinion de Saussure, l'air ne commençait même à dissoudre l'eau que quand l'action du calorique l'avait convertie en fluide élastique (1). Ainsi l'air qui, d'un côté s'opposait, par sa pression, à la force de ressort du calorique, pour réduire l'eau en

(1) Essais sur l'Hygrométrie, n° 191.

vapeur, la secondait, d'un autre côté, par l'affinité qu'il exerçait sur ce liquide.

Dans cette même hypothèse, la vapeur, tandis qu'elle était attirée par l'air, agissait sur ce fluide par son élasticité, pour écarter ses molécules, jusqu'à ce que la perte que l'air faisait d'une partie de son ressort, par cet écartement, fût égale au ressort constant de la vapeur, ensorte qu'à l'aide de la compensation qui en résultait, l'équilibre avec la pression de l'atmosphère se trouvait rétabli. C'était en vertu de cette affinité que l'air exerçait sur la vapeur, que celle-ci échappait à l'effet de la pression, qui sans cela en eût forcé une partie de repasser à l'état de liquidité (276).

285. On ne peut refuser à la théorie de Leroi, ainsi modifiée, le mérite d'offrir une manière plus plausible de concevoir les phénomènes. Cependant, lorsqu'on y regarde de près, on a peine à reconnaître ici l'affinité. On sait que l'action de cette force se modifie diversement, et change pour ainsi dire de mesure, suivant la nature des substances qui l'exercent. Comment concilier avec ces variations, l'uniformité qui existe dans la quantité de vapeur dont tous les gaz se saturent, par un même degré de chaleur et à égalité d'espace, surtout si l'on considère que cette quantité est égale à celle qui, dans les mêmes circonstances, se formerait au milieu du vide par la seule action du calorique?

Théories de Deluc et de Dalton.

286. D'après les réflexions que nous venons de faire, on ne sera pas étonné que des physiciens d'un mérite distingué aient écarté de leur théorie la considération de l'affinité, pour ramener tout à l'élasticité, soit de l'air, soit de la vapeur. La première théorie de ce genre qui ait paru, a pour auteur le célèbre Deluc. Selon ce physicien, l'évaporation est produite uniquement par le feu qui, s'unissant au liquide, l'entraîne avec lui sous la forme d'un fluide expansible (1). Les particules de ce

(1) Introduct. à la Phys. Terrestre, t. 1, p. 383.

fluide se mêlent à celles de l'air : là, elles contribuent, pour leur part, à supporter la pression de l'atmosphère, comme si elles étaient autant de particules d'air appartenant à la même masse; toute la différence consiste en ce qu'elles ne pourraient être rapprochées entre elles au-delà d'un certain point déterminé par la température, sans qu'une partie ne se décomposât, pour se convertir en eau. Mais elles sont garanties de ce rapprochement, par leur mélange avec l'air au milieu duquel elles exercent leur force expansive, comme si elles se trouvaient dans le vide (1).

287. La manière dont le même sujet a été envisagé par Dalton ne s'éloigne pas beaucoup de celle que nous venons d'exposer. Ce savant pense que quand une vapeur, telle que la vapeur de l'eau, se mêle, par exemple, à l'air atmosphérique, les molécules de chaque fluide se repoussent mutuellement, sans exercer aucune action sur celles de l'autre fluide. Ainsi, à l'instant même du mélange, l'élasticité de la vapeur décharge l'air d'une partie de la pression qu'il soutenait. Cet air se dilate donc par l'excès de sa force élastique, jusqu'à ce que la partie qui lui en reste, jointe à l'élasticité de la vapeur, soit en équilibre avec la pression. Dans cet état de choses, les molécules des deux fluides agissent comme feraient de petits ressorts de deux espèces intercalés les uns entre les autres, de manière que ceux de chaque espèce exerçassent leur force séparément. Si quelque molécule d'un des fluides éprouve une résistance de la part des molécules de l'autre, ce n'est qu'une résistance, pour ainsi dire, de rencontre, semblable à celle qui a lieu dans le choc des corps solides, et qui ne peut en conséquence exister qu'accidentellement, par une suite du contact.

Tout ce que la chimie peut opposer de plus fort à cette doctrine, dans l'hypothèse de la dissolution de l'eau par l'air, a été employé par Berthollet, pour défendre ici les droits de l'affinité, dans le bel ouvrage où il a présenté la théorie de cette

(1) Introduction à la Phys. Terrestre, t. 1, p. 399.

force d'une manière si neuve et si digne de son génie (1). Mais comme l'hypothèse dont il s'agit n'est pas elle-même à l'abri des objections (280), c'est plutôt dans la physique que doivent être puisées les considérations qui peuvent faire apprécier la manière de voir des deux auteurs. Or nous nous contenterons d'observer, à cet égard, que celle de M. Dalton, loin de servir à expliquer comment la vapeur peut résister à la pression qui tend à la convertir en eau, met au contraire la difficulté à découvert, en nous offrant les actions de l'air et de la vapeur comme entièrement isolées l'une par rapport à l'autre. Quant à M. Deluc, l'expression de mélange par laquelle il désigne l'union de la vapeur avec l'air, déguise la difficulté plutôt qu'elle ne la fait disparaître.

Théorie de Laplace.

288. Entre les deux hypothèses que nous venons d'exposer, il en est une troisième, dont l'idée est encore le fruit des savantes méditations du célèbre Laplace. Elle consiste à considérer la vapeur unie à l'air, comme exerçant sur ce dernier fluide, et éprouvant de sa part la même action répulsive qu'une nouvelle masse d'air dont l'élasticité et la densité seraient les mêmes, toutes choses égales d'ailleurs, que celles de la vapeur.

Pour rendre ceci sensible par un exemple, imaginons un cylindre d'air infiniment délié, qui se réduise à une simple file de molécules de ce fluide, et supposons que la température étant, par exemple, de 20^{d}, celles de ces mêmes molécules qui sont voisines se repoussent avec une force capable de faire équilibre à une pression de quatre décimètres de mercure. Concevons, d'une autre part, une file de molécules de vapeur, de la même longueur que la précédente, et capable de soutenir la même pression de quatre décimètres, la température de cette vapeur étant aussi de 20^{d}. Si nous supposons que le nombre de

(1) Essai de Statique Chimique, première Partie, p. 485 et suiv.

molécules soit égal de part et d'autre, toute la différence consistera en ce que celles de la vapeur seront moins denses, puisque la pesanteur spécifique de la vapeur, à égalité de température, est plus petite que celle de l'air (271).

Lorsque nous disons que les molécules de l'air ou celles de la vapeur se repoussent, ce n'est qu'une manière abrégée d'exprimer que les molécules du calorique interposées entre les unes ou les autres, agissent comme autant de petits ressorts bandés, pour augmenter leurs distances respectives, l'effet de cette action élastique étant équivalent à une répulsion mutuelle dont la cause existerait dans les molécules elles-mêmes.

Intercalons maintenant les molécules de la vapeur, une à une, entre celles de l'air. Il est évident que deux molécules voisines, l'une d'air, l'autre de vapeur, se repousseront mutuellement avec une force double de la première, ensorte que le mélange sera capable de soutenir une colonne de mercure de huit décimètres de hauteur, sans que les molécules de la vapeur puissent se rapprocher. Car quoiqu'elles soient encore aux mêmes distances respectives où leur répulsion mutuelle n'est mesurée que par quatre décimètres, l'action répulsive que les molécules de l'air exercent sur elles, les maintient dans leurs positions, et les soustrait à l'effet de la pression qui, sans la présence de l'air, en forcerait une partie à se réduire en eau. Dans le mélange dont il s'agit, l'intervalle entre chaque molécule d'air et la molécule voisine de vapeur, sera de même occupé par un petit ressort de calorique, dont l'action pour les écarter l'une de l'autre est ce que nous désignons par le mot de *répulsion*.

Les choses auront lieu d'une manière analogue, relativement à une masse d'air entremêlée de vapeur, toutes les circonstances étant d'ailleurs les mêmes. Une molécule de vapeur située dans un point quelconque de la masse, sera environnée de molécules d'air opposées deux à deux sur des directions qui passeront toutes par cette molécule, ensorte qu'elle sera garantie, de toutes parts, contre la pression qui la rapprocherait des autres molécules, si elle restait abandonnée à elle-même.

289.

289. On peut supposer que l'élasticité de la vapeur soit différente de celle de l'air : par exemple, dans l'expérience de Saussure (263), elle n'en est que la 53e partie, à égalité de température. Dans ce cas, les molécules de la vapeur conservent toujours au milieu de celles de l'air les mêmes distances respectives que quand elles existaient seules dans un espace égal à celui qu'occupe le mélange, et les molécules de l'air se rapprochent de manière que leur force répulsive mutuelle comparée à celle qui avait lieu, lorsque cet air était pur, se trouve augmentée dans le rapport de 53 à 54; et comme elles exercent sur les molécules de la vapeur, et subissent de leur part des actions égales à celle de cette même force, il en résulte que l'élasticité du mélange est encore la somme des élasticités qu'avaient les deux fluides, lorsqu'ils existaient séparément. On conçoit aussi comment l'action répulsive des molécules de l'air sur celles de la vapeur a de même son effet pour s'opposer à leur réunion.

La vapeur, telle que nous la considérons ici, est à l'état de vapeur naissante (267), c'est-à-dire que ses molécules sont à des distances respectives un peu plus petites que le rayon de leur sphère d'affinité sensible. Il n'en est pas de même des molécules de l'air considérées entre elles ; leurs distances mutuelles sont plus grandes que le rayon de leur sphère d'affinité sensible, et il en faut dire autant de la distance qui sépare chaque molécule de vapeur de la molécule d'air voisine ; telle est la petitesse du rayon de la sphère d'affinité sensible de l'air pour la vapeur, que la distance dont il s'agit excède l'étendue de ce rayon. Ainsi, dans l'hypothèse où l'espace viendrait à diminuer, les molécules de la vapeur subiraient un rapprochement, à la faveur duquel leurs attractions réciproques se trouvant augmentées, en détermineraient une partie à reprendre l'état liquide, et du reste tout se passerait comme s'il n'existait point d'air dans l'espace qu'occupe la vapeur (266).

290. Ce que nous venons de dire des molécules de l'air et des molécules aqueuses, s'applique également à tous les corps qui, en passant à l'état de gaz ou de vapeur, deviennent sus-

ceptibles d'agir les uns sur les autres par répulsion, dans des circonstances semblables à celles que nous avons citées. Il en est cependant qnelques-unes où les fluides que l'on méle, cèdent au contraire à leur affinité mutuelle, en se combinant; et cet effet qui, au premier apperçu, ne paraît pas se concilier avec la théorie précédente, n'en est qu'un corollaire. On sait, par exemple, que quand on forme un mélange de gaz nitreux et d'air atmosphérique, le volume du mélange diminue, en même temps que l'air absorbe le gaz nitreux. Or, si nous imaginons que les deux fluides restent pendant un instant dans leur état primitif, les molécules de chacun, considéré séparément, se trouveront à des distances respectives plus grandes que le rayon de leur sphère d'affinité sensible pour elles-mêmes. Mais telles seront les positions mutuelles que les molécules des deux espèces auront prises, en se mêlant, que la distance entre chaque molécule d'air et la molécule de gaz nitreux qui en est voisine, sera moindre que le rayon de la sphère d'affinité sensible de l'air pour l'autre principe; et l'effet de cette différence donnera à l'affinité dont il s'agit une prépondérance capable de déterminer la combinaison des deux gaz, et l'absorption qui en est la suite. Il sera facile d'étendre cette explication à d'autres cas analogues, et de ramener toutes les diversités qu'offrent les phénomènes de ce genre, à celle qui existe dans le rapport entre l'intervalle au-delà duquel l'attraction des molécules d'un principe sur celles de l'autre est censée s'évanouir, et celui que la force élastique du calorique met entre elles.

10. De la Combustion.

291. Quoique la théorie relative à la manière dont le calorique agit dans la combnstion appartienne proprement à la chimie, nous ne pouvons nous dispenser, en terminant ce qui regarde ce fluide, de donner sur cet objet quelques détails qui sont liés à l'histoire de la physique. La combustion présente en général l'aspect d'un corps qui se dissipe, en produisant ce

qu'on appelle communément *chaleur* et *lumière*. Dans le langage vulgaire, *feu* et *combustion* sont presque synonymes l'un de l'autre ; mais dans les idées des anciens philosophes, le feu était l'agent de la combustion. Ils le regardaient comme un principe fixé dans les corps, dont le dégagement produisait la dissipation des molécules de la substance embrasée ; et c'était à ce même principe que Stahl avait donné le nom de *phlogistique*. La manière dont les physiciens qui ont adopté la doctrine de cet homme célèbre expliquaient la combustion, était d'autant plus séduisante, que la cause dont ils faisaient dépendre ce phénomène s'offrait sous l'air d'une cause mécanique. Les molécules du feu élémentaire étaient logées dans celles des corps, comme dans autant de petites enveloppes, où elles éprouvaient une compression semblable à celle d'un ressort bandé. Dans la combustion, le feu, en s'échappant par sa force expansive, des particules par lesquelles commençait la déflagration, imprimait aux particules voisines une secousse qui occasionnait leur rupture, par le débandement du feu qu'elles recélaient ; et ainsi, de proche en proche, la commotion et, par une suite nécessaire, l'embrasement se communiquait à toute la masse. L'air contribuait à entretenir et à accélérer l'action du feu, en réagissant contre lui, et en opposant à sa dissipation un obstacle qui concentrait son action dans un espace plus étroit, et en augmentait l'énergie.

Les découvertes des chimistes modernes, et surtout celles de l'illustre Lavoisier, ont entièrement changé le point de vue sous lequel la combustion doit être envisagée. Elles ont démontré que ce phénomène consiste dans une combinaison des molécules propres d'un corps avec celles de l'oxigène que ce corps enlève à l'air environnant, accompagnée du dégagement de la lumière et du calorique, qui tenaient l'oxigène à l'état de fluide élastique. Cette doctrine a fait disparaître le phlogistique comme étant au moins inutile; et l'air atmosphérique, que l'on avait regardé comme un simple stimulant, par rapport à la combustion, fournit le principe qui en est l'agent principal et immédiat.

IV. DE L'EAU.

DANS l'exposé que nous avons fait jusqu'ici des propriétés générales des corps, nous nous sommes bornés à citer quelques exemples tirés de ceux qui manifestent ces propriétés d'une manière plus sensible. Nous allons reprendre successivement certains liquides ou certains fluides particuliers qui ont une influence remarquable dans les phénomènes de la nature.

Le premier est l'eau, que nous considérerons d'abord dans son état ordinaire, qui est celui de liquidité, ensuite dans l'état de glace, puis dans celui de vapeurs, qui sont comme les extrêmes entre lesquels se trouve l'eau liquide.

1. De l'Eau à l'état de Liquidité.

292. Les principales propriétés physiques de l'eau liquide, consistent en ce qu'elle est insipide, inodore, transparente, sans couleur, et susceptible de mouiller la plupart des corps qu'on met en contact avec elle.

293. Tout le monde sait avec quelle abondance ce liquide est répandu dans la nature, et combien sont diversifiées les fonctions qu'il y exerce. Rassemblé en masses immenses dans les bassins des mers, entraîné par un mouvement progressif sur le lit des fleuves et des rivières, il sert de véhicule aux navires et à différentes espèces de bâtimens, pour établir, par les voyages et par le commerce, une commnnication entre les peuples des diverses contrées. Il devient, par son impulsion, le moteur d'une multitude de machines aussi utiles qu'ingénieuses; et si l'homme a en sa disposition une puissance supérieure encore à celle qui agit dans ce cas, il la doit au même liquide converti en vapeurs. L'eau est l'élément dans lequel vivent une infinité d'êtres organisés; elle sert de boisson à l'homme et aux animaux qui peuplent la terre et les airs; elle est un des principaux agens de la végétation; c'est dans

son sein que se sont formés une multitude de minéraux, et ces précieuses substances métalliques auxquelles l'industrie humaine semble donner une nouvelle existence, en les élaborant pour nos usages.

294. L'eau a été regardée, pendant long-temps, comme une substance simple; et, sous ce rapport, les anciens philosophes en faisaient un des quatre élémens qui donnaient naissance à tous les corps de la nature; savoir, le Feu, l'Eau, l'Air et la Terre. Cette opinion, quoique éloignée de la vérité, avait cela de séduisant, qu'elle faisait concourir à la formation de tous les autres êtres, ceux qui existent le plus généralement dans l'univers, qui occupant comme autant de domaines distincts, l'un dans les espaces célestes, les trois derniers dans la région qu'habite l'homme, sont néanmoins toujours en commerce les uns avec les autres et avec le reste de la nature, qui enfin semblaient seuls être fixes et inaltérables, au milieu des alternatives qui faisaient varier sans cesse la scène des animaux, des plantes et des minéraux.

La chimie moderne a substitué, à ces systèmes nés de considérations abstraites, des théories fondées sur des faits; et parmi ces derniers, un des plus remarquables est la décomposition en oxigène et en hydrogène de ce même liquide que l'on avait rangé parmi les substances élémentaires. Nous nous bornons encore ici à indiquer ce résultat, dont le détail n'entre pas dans notre plan.

295. L'eau de pluie est celle qui approche le plus de l'état de pureté. Chaptal a observé que celle qui accompagne les orages est plus mélangée que celle d'une pluie douce, et que cette dernière devient plus pure pendant la durée de la pluie (1). L'eau qui baigne la surface du globe, ou coule dans son intérieur, est toujours chargée de matières hétérogènes. On sait que celle de la mer et de plusieurs fontaines contient plus ou moins abondamment un sel qu'on en retire par l'évaporation, et qui est connu sous le nom de *sel marin*. On appelle *eaux*

(1) Elémens de Chimie, troisième édition, t. 1, p. 139.

minérales, celles qui renferment différentes substances salines, métalliques ou autres; elles sont employées avec succès, dans le traitement de diverses maladies : elles empruntent des substances unies avec elles une saveur et quelquefois une odeur particulière. A l'égard de l'eau des rivières, elle tient en dissolution plusieurs matières pierreuses, et en particulier des molécules calcaires; et celle qui coule dans le sein de la terre forme des incrustations de ces mêmes molécules, tantôt à l'intérieur des canaux qui la reçoivent, tantôt autour des corps organisés qui y sont plongés.

296. On a tenté inutilement de comprimer l'eau en employant une très-grande force; et cette propriété d'etre sensiblement incompressible est générale pour tous les liquides. Une des expériences qui ont servi à la reconnaître, par rapport à l'eau, consiste à charger ce liquide d'une colonne de mercure, en employant un tube recourbé en forme de syphon, dont la branche la plus courte est fermée par sa partie supérieure, et contient de l'eau, en même temps que la branche la plus longue est occupée par le mercure, qui presse la surface de l'eau. La colonne formée par ce dernier liquide ne se raccourcit pas de la plus petite quantité sensible, lors même que celle de mercure a 227 centimètres ou 7 pieds de hauteur, auquel cas elle exerce sur l'eau un effort triple de celui d'une colonne d'eau de près de 10 mètres $\frac{4}{10}$, ou 32 pieds de hauteur. Il y a tout lieu cependant de présumer que l'eau est réellement compressible, mais dans un degré inappréciable, au moins par les efforts que l'on a employés jusqu'ici pour la condenser; car la faculté qu'elle a de transmettre les sons, prouve qu'elle est élastique, et cette qualité suppose nécessairement la compressibilité.

De l'Hygrométrie.

297. L'observation des divers phénomènes produits par ce qu'on appelle *humidité*, a donné naissance à une branche de physique qui porte le nom d'*hygrométrie*. Nous allons exposer

les principes relatifs à la théorie générale de ces phénomènes, et nous décrirons ensuite l'*hygromètre*, ou l'instrument qui sert à mesurer l'humidité de l'air.

Tous les corps susceptibles de s'imbiber d'eau, ont une disposition plus ou moins grande à s'unir avec ce liquide, par l'effet d'une attraction semblable à l'affinité chimique, jointe à la texture de leurs parties et aux autres circonstances.

Si l'on plonge dans l'eau plusieurs de ces corps, tels que du bois, une éponge, du papier, etc., ils s'approprieront une quantité de ce liquide, qui variera d'un corps à l'autre; et comme à mesure qu'ils tendent vers le point de saturation, leur affinité pour l'eau va en diminuant, lorsque ceux qui attiraient l'eau plus puissamment seront parvenus au point où leur force attractive se trouvera seulement égale à celle des corps qui agissaient plus faiblement sur le même liquide, il s'établira entre tous ces corps une espèce d'équilibre, ensorte qu'à ce terme l'imbibition s'arrêtera.

On voit qu'il y a ici une parité entre la manière dont les corps enlèvent le calorique, et celle dont ils s'imbibent d'eau; que la principale condition qui détermine l'équilibre est la même de part et d'autre, et qu'elle dépend des différentes capacités des corps pour la substance qui échauffe ou pour celle qui mouille.

Que l'on mette en contact deux corps imprégnés d'eau, mais dont les affinités pour ce liquide ne soient pas en équilibre; celui dont l'affinité sera plus faible cédera une partie de son eau à l'autre corps, jusqu'à ce que l'équilibre soit établi; et c'est dans cette disposition d'un corps à communiquer aux corps environnans une partie de l'eau dont il est imbibé que consiste proprement ce qu'on appelle *humidité*.

298. L'air est celui de tous les corps dont nous ayons le plus d'intérêt de connaître les différens degrés d'humidité, et c'est aussi vers les moyens propres à nous procurer cette connaissance, que les physiciens ont dirigé principalement leurs recherches; de là les diverses espèces d'instrumens que l'on a imaginés pour mesurer l'humidité de l'air.

299. On connaît une multitude de corps dans lesquels l'humidité, à mesure qu'elle augmente ou diminue, occasionne divers degrés de dilatation ou de contraction, suivant que le corps se prête à l'un ou à l'autre de ces effets, à raison de son organisation, de son tissu, ou de la disposition des fibres dont il est l'assemblage. Par exemple, l'ean, en s'introduisant dans l'intérieur des cordes faites de fibres tortillées et situées obliquement, produit entre ces fibres un écartement qui fait gonfler la corde, et par une suite nécessaire, la raccourcit. Les fils tors dont on fabrique les toiles, peuvent être considérés comme de petites cordes qui éprouvent de même un raccourcissement par l'action de l'humidité; ce qui fait que les toiles, surtout lorsqu'on les mouille pour la première fois, se retirent dans les deux sens où leurs fils se croisent; au contraire, le papier, qui n'est qu'un assemblage de filamens très-déliés, très-courts, et disposés irrégulièrement dans toutes sortes de directions, s'alonge dans toutes les dimensions de sa surface, à mesure qne l'eau, en s'insinuant dans les intervalles de ces mêmes filamens, agit, pour les écarter, en allant du milieu vers les bords.

On a employé successivement à la construction des hygromètres, différens corps choisis parmi ceux dans lesquels l'humidité produit les mouvemens les plus sensibles. On a cherché aussi à mesurer l'humidité de l'air par l'augmentation de poids que subissent certaines substances, telles qu'un flocon de laine, ou un sel, en absorbant l'eau contenue dans l'air.

Mais, outre que ces moyens étaient par eux-mêmes très-imparfaits, les corps qu'on y employait étaient sujets à des altérations qui leur faisaient perdre plus ou moins promptement leur qualité hygrométrique; ils avaient le double inconvénient, de servir mal, et de n'être pas d'un long service.

Hygromètre de Saussure.

300. Pour tirer de l'hygromètre des avantages réels, il fallait le mettre en état de rivaliser avec le thermomètre, en

offrant une suite d'observations exactes, et qui fussent comparables dans les différens hygromètres.

Le célèbre Saussure, à qui nous devons un ouvrage très-estimé sur l'hygrométrie, est parvenu à remplir cet objet, par un procédé dont nous allons donner une idée.

La pièce principale de cet hygromètre est un cheveu, auquel Saussure fait d'abord subir une préparation, dont le but est de le dépouiller d'une espèce d'onctuosité qui lui est naturelle, et qui le garantirait, jusqu'à un certain point, de l'action de l'humidité. Cette préparation se fait en même temps sur un certain nombre de cheveux formant une touffe, dont l'épaisseur ne doit pas excéder celle d'une plume à écrire, et renfermés dans une toile fine qui leur sert d'étui. On plonge les cheveux ainsi enveloppés dans un matras à long col, rempli d'eau, qui tient en dissolution à-peu-près un centième de son poids de sulfate de soude, et l'on fait bouillir cette eau pendant trente minutes; on passe ensuite à deux reprises les cheveux dans l'eau pure, pendant qu'elle est aussi en ébullition; on les retire de leur enveloppe, et on les sépare, puis on les suspend pour les faire sécher à l'air, après quoi il ne reste plus qu'à faire un choix de ceux qui étant plus nets, plus doux, plus brillans et plus transparens, méritent d'être employés de préférence.

On sait que l'humidité alonge le cheveu, et que le dessèchement le raccourcit. Pour rendre l'un et l'autre effet plus sensibles, Saussure attache un des deux bouts du cheveu à un point fixe, et l'autre à la circonférence d'un petit cylindre mobile, qui porte à l'une de ses extrémités une aiguille légère. Le cheveu est bandé par un contre-poids de 16 centigrammes, ou d'environ trois grains, suspendu à une soie déliée, qui est roulée en sens contraire autour du même cylindre. A mesure que le cheveu s'alonge ou se raccourcit, il fait tourner le cylindre dans un sens ou dans l'autre, et, par une suite nécessaire, la petite aiguille, dont les mouvemens se mesurent sur la circonférence d'un cercle gradué, autour duquel l'aiguille fait sa révolution comme dans les cadrans ordinaires. De cette

manière, une variation très-petite dans la longueur du cheveu, devient sensible, par le mouvement beaucoup plus considérable qu'elle occasionne dans l'extrémité de l'aiguille ; et l'on conçoit aisément qu'à des degrés égaux d'alongement ou de raccourcissement dans le cheveu, répondent des arcs égaux parcourus par l'aiguille.

Pour donner à l'échelle une base qui puisse mettre en rapport tous les hygromètres construits d'après les mêmes principes, Saussure prend deux termes fixes, dont l'un est l'extrême de l'humidité, et l'autre celui de la sécheresse : il détermine le premier, en plaçant l'hygromètre sous un récipient de verre, dont il a mouillé, exactement, avec de l'eau, toute la surface intérieure ; l'air, en se saturant de cette eau, agit par son humidité sur le cheveu, pour l'alonger. On humecte de nouveau l'intérieur du récipient, autant de fois qu'il est nécessaire ; et l'on reconnaît que le terme de l'humidité extrême est arrivé, lorsque, par un séjour plus long sous le récipient, le cheveu cesse de s'étendre.

Pour obtenir le terme de l'extrême sécheresse, le même physicien se sert d'un récipient chaud et bien desséché, sous lequel il renferme l'hygromètre, avec un morceau de tôle pareillement échauffé et couvert d'alkali fixe. Ce sel, en exerçant sa faculté absorbante sur ce qui reste d'humidité dans l'air environnant, détermine le cheveu à se raccourcir jusqu'à ce qu'il ait atteint le dernier terme de sa contraction.

Ce terme n'est pas éloigné de celui qui répond à un parfait desséchement, ensorte que l'on peut regarder comme inappréciable la petite quantité d'humidité qui pourrait rester encore dans le cheveu (1) ; et comme d'une autre part le plus grand alongement du cheveu est déterminé par la plus grande quantité possible d'humidité dont il puisse se charger, il en résulte que les deux points fixes de l'hygromètre répondent sensiblement à deux états absolus, en quoi cet instrument diffère du thermomètre, dont les deux termes fixes consistent dans deux

(1) Essais sur l'Hygrométrie, numéros 47 et 149.

limites prises au milieu d'une série de termes, qui s'étend indéfiniment au-dessus et au-dessous de ces limites.

L'échelle de l'instrument est divisée en cent degrés. Le zéro indique le terme de l'extreme sécheresse, et le nombre cent celui de l'humidité extreme. L'inventeur a senti les avantages de la division decimale pour la facilité des calculs, et n'a pas balancé à l'adopter.

Hygromètre de Deluc.

301. Les nombreux travaux de Deluc sur l'hygrométrie, dont une grande partie a concouru avec ceux de Saussure, ont été exécutés à l'aide d'un instrument qui diffère par sa pièce essentielle de celui que nous venons de décrire; et cette diversité dans les moyens d'interroger l'expérience sur un point de physique si délicat, a été pour les inventeurs l'occasion d'une rivalite qui a fait naître entre eux des discussions intéressantes (1). Le physicien anglais emploie pour la construction de ses hygromètres une bandelette très-mince de baleine, qui fait le meme office que le cheveu dans l'hygromètre de Saussure. Il maintient cette bandelette tendue au moyen d'un ressort, dont il préfère l'action à celle d'un poids; il détermine le degré d'humidite extreme, en plongeant la bandelette de baleine tout à fait dans l'eau; et pour fixer la limite opposée, qui est celle de l'extreme sécheresse, il se sert de chaux calcinée, qu'il renferme avec l'hygromètre sous une cloche de verre. Le choix de cette substance est fondé sur ce que la calcination l'ayant amenee au plus haut degré de secheresse, si on la laisse ensuite refroidir, jusqu'au point de pouvoir etre placée, sans inconvénient, sous la cloche de verre destinée à l'expérience, elle se trouvera encore sensiblement dans le même état de sécheresse, parcequ'elle est très-lente à reprendre de l'humidité; et ainsi, toute sa faculté absorbante sera employée à dessécher peu à peu l'air renfermé sous le récipient, et à faire passer

(1) Voyez le Journal de Physique, 1788, t. XXXII, pp. 24, 98 et 132.

l'hygromètre lui-même à un état qui se rapprochera le plus qu'il est possible de l'extrême sécheresse.

Des Variations de l'Hygromètre.

302. Examinons maintenant l'action de l'hygromètre sur vapeur renfermée dans l'air, en choisissant l'hygromètre à cheveu, pour y appliquer la théorie. Nous avons vu (264) qu'une masse d'air déterminée, en contact avec de l'eau liquide, contient toute la quantité de vapeur qu'elle est susceptible d'admettre, à une température donnée, lorsque la force élastique du calorique interposé entre les molécules de la vapeur, moins l'affinité mutuelle de ces molécules, est en équilibre avec la force du calorique renfermé dans l'eau, moins l'affinité de cette eau pour elle-même. Or l'eau dont l'hygromètre est imbibé diffère de celle qui serait isolée au milieu de l'air, en ce qu'elle est soumise à l'action d'une troisième force, savoir l'affinité que le cheveu exerce sur elle, et il est visible que cette force agit dans le même sens que l'affinité réciproque des molécules de l'eau, ensorte qu'elle tend à diminuer l'effet de la force élastique du calorique interposé dans la même eau. De plus, elle augmente à mesure que l'hygromètre perd de son eau, et elle diminue, à mesure qu'il s'imbibe d'une nouvelle quantité de ce liquide, de manière qu'il y a un terme où l'hygromètre étant saturé, elle est censée devenir nulle.

303. Nous devons observer encore, pour l'intelligence des phénomènes, que l'on suppose la masse du cheveu assez petite pour qu'on puisse négliger la légère quantité d'eau qu'il enlève ou qu'il cède à l'air environnant, quoique ce soit cette eau qui détermine les variations et, par une suite nécessaire, les indications de l'instrument. Nous avons déja fait une remarque semblable, à l'égard du thermomètre (141).

304. Cela posé, concevons que l'on place au milieu d'une masse d'air saturée de vapeur, un hygromètre qui marque le degré de l'humidité extrême. Il n'arrivera rien de nouveau; car l'affinité de l'hygromètre pour l'eau étant satisfaite à ce terme,

son action est nulle, ensorte que l'eau dont le cheveu est humecté, étant dans le même cas que celle qui est supposée avoir fonrni à l'air la vapeur qui a fait monter ce fluide à son point de saturation, l'équilibre qni existait, relativement à cette dernière eau, aura lieu également pour l'autre.

305. Imaginons au contraire que l'hygromètre, en arrivant au milieu de l'air satnré, soit au-dessous du terme de l'humidité extrême. Alors l'affinité du cheveu pour l'eau n'étant pas satisfaite, attirera dans le cheveu une partie de la vapeur que renferme l'air, jusqu'à ce qu'elle ait épnisé son action. A ce moment l'équilibre du système sera le même que dans l'exemple précédent (304), c'est-à-dire que l'indication de l'hygromètre se tronvera d'accord avec l'état actuel de l'air.

306. Les choses étant dans cette position, concevons que la quantité de vapenr diminue dans l'air, et que la température reste la même, d'où il résulte que l'air sera au-dessous de son point de saturation. L'eau dont le cheveu est imbibé étant d'abord dans le même cas qu'une masse de ce liquide, isolée au milieu de l'air, la force élastique du calorique qu'elle renferme en convertira une partie en vapeur. En même temps l'affinité du cheveu pour l'eau reparaîtra, et commencera à exercer sa force pour retenir les molécules aqueuses qui tendent à s'échapper. Il s'établira donc un nouveau point d'équilibre, au terme où la force élastique du calorique renfermé dans l'ean de l'hygromètre, moins les deux affinités qui sollicitent cette eau (302), sera en équilibre avec la force élastique dn calorique interposé dans la vapeur, moins l'affinité de cette vapeur pour ellemême. Alors l'hygromètre étant descendu au-dessous du terme de l'humidité extreme, fera connaître que le degré de l'air est inférieur lui-meme à celni de la saturation.

307. Le même effet aura lieu, si l'on suppose que l'air ayant subi une élévation de température, sans que la quantité de vapenr dont il était chargé soit augmentée, on place an milieu de cet air un hygromètre qui marque le terme de l'humidité extrême. Dans ce cas, le cheveu cédera encore à l'air une partie de l'eau dont il est imbibé, jusqu'à ce qu'il y ait équi-

libre entre les forces auxquelles cette même eau et la vapeur environnante sont soumises.

Des différentes causes qui compliquent la marche de l'Hygromètre.

Ce que nous venons de dire suffit pour les circonstances ordinaires, où celui qui consulte l'hygromètre ne se propose que de connaître, par son moyen, si l'air est voisin du point de saturation, ou s'il en est éloigné, c'est-à-dire s'il a une disposition prochaine à se dessaisir des vapeurs renfermées dans son sein, où s'il est susceptible d'en recevoir de nouvelles par la température actuelle. Mais cette connaissance ne suffit pas au physicien qui desire être en état de comparer les variations de l'hygromètre avec les différentes quantités de vapeurs dont l'air est chargé. Ceci exige certaines considérations relatives aux diverses causes qui se combinent pour influer sur la marche de l'instrument.

308. Lorsque l'air au milieu duquel est situé l'hygromètre subit une élévation de température, sans recevoir de nouvelles vapeurs, le calorique devenu plus abondant détermine, comme nous l'avons vu (307), l'évaporation d'une partie de l'eau dont le cheveu est imbibé, ce qui tend à raccourcir celui-ci; mais d'un autre côté, l'action du calorique alonge le cheveu, en le pénétrant, et l'on a ainsi deux effets opposés, l'un hygrométrique, l'autre pyrométrique. Ces mêmes effets ont lieu en sens contraire, si la chaleur diminue. Le cheveu, dans ce cas, se charge d'une portion surabondante d'humidité qu'il enlève à l'air, ce qui le détermine à s'alonger, et en même temps le refroidissement agit pour le raccourcir. De ces deux effets, celui que nous nommons *hygrometrique* est beaucoup plus sensible que l'autre, et sa prédominance augmente, à mesure que l'humidité devient plus considérable. Il suit de là que, tout compensé, l'élévation de température, dans un espace où la quantité de vapeur est supposée constante, fait toujours marcher l'hygromètre vers le point de l'extrême sécheresse, et que

l'abaissement de température lui imprime toujours un mouvement contraire vers le point de l'humidité extrême. Ces variations sont seulement un peu moins sensibles que dans l'hypothèse où l'action pyrométrique serait nulle.

309. Supposons qu'un hygromètre, situé d'abord dans une plaine, marque $50^{d.}$ d'humidité, par une température qui soit, par exemple, de $15^{d.}$ au-dessus de zéro, sur le thermomètre dit de Réaumur, et qu'ensuite le même instrument porté sur une montagne, marque $56^{d.}$, tandis que le thermomètre n'est plus qu'à $8^{d.}$. Le physicien qui desirerait savoir si l'air de la montagne serait plus humide ou plus sec que celui de la plaine, se trouverait embarrassé, à moins qu'il n'eût les données nécessaires pour résoudre ce problème. Car, en supposant que l'air renfermât de part et d'autre la même quantité de vapeurs, le seul abaissement de température aurait suffi pour faire avancer le cheveu vers l'humidité extrême, par l'excès de l'effet hygrométrique sur l'effet pyrométrique (308). Seulement il aurait fait plus de chemin dans le même sens, si l'air de la montagne était plus humide que celui de la plaine. Mais il serait possible qu'il eût encore suivi la même marche, quoique d'une manière moins sensible, si l'air de la montagne étant plus sec que celui de la plaine, l'effet de cette différence pour raccourcir le cheveu avait été plus petit que celui de l'abaissement de température pour l'alonger.

La question se réduit donc à savoir de combien de degrés cet abaissement de température aurait fait monter l'hygromètre vers l'humidité, en supposant qu'il y eût partout uniformité dans la quantité de vapeurs. Si le nombre de degrés dont il s'agit était égal à la différence 6 entre les deux indications de l'instrument, on en conclurait que l'air de la montagne est aussi chargé de vapeurs que celui de la plaine; s'il était plus petit ou plus grand que 6, on aurait la preuve que l'air de la montagne est plus humide ou plus sec que celui de la plaine.

310. Pour mettre les physiciens à portée de résoudre ce problème, Saussure a construit une table de correction, qui fait connaître de combien le cheveu, parvenu à tel degré de

son échelle, s'alonge ou se raccourcit, par l'excès de l'effet hygrométrique sur l'effet pyrométrique, lorsque la température s'abaisse ou s'élève d'un degré (1). On voit, en examinant cette table, que les variations de l'hygromètre suivent une marche assez régulière depuis le 25e degré de l'échelle de cet instrument jusqu'au 72e ; dans cet intervalle, elles croissent ou décroissent, à très-peu près, en progression arithmétique, de manière que la différence entre deux termes consécutifs est égale à environ la trentième partie d'un degré. D'après cette observation, pour avoir la solution du problème proposé, nous n'avons besoin que de connaître le nombre qui représente la variation de l'hygromètre pour un degré du thermomètre, lorsque l'instrument est au 50e degré de son échelle. Ce nombre étant 1,283 ou plus simplement 1,3, nous le considérerons comme le premier terme d'une progression arithmétique, dans laquelle la différence est $\frac{1}{30}$ ou 0,033, et le nombre des termes est 7 comme l'indique l'abaissement de température. En faisant usage de ces données, on trouve pour la somme des termes $9^{d.}$,8, lesquels ajoutés à $50^{d.}$ font $59^{d.}$,8. Tel serait donc le point que marquerait l'hygromètre sur la montagne, dans l'hypothèse où l'air qu'on y respire renfermerait la même quantité de vapeurs que celui de la plaine. Mais l'hygromètre ne marquait sur la montagne que $56^{d.}$, d'où l'on conclura que l'air y était plus sec que dans la plaine.

311. Un autre problème dont la solution complète doit être regardée comme l'objet final de l'hygrométrie, est celui qui consiste à trouver le rapport entre les degrés de l'hygromètre, ceux du thermomètre, et les quantités de vapeurs contenues dans une portion déterminée de la masse d'air environnante. Saussure a ébauché le travail relatif à cette détermination : Deluc a été conduit beaucoup plus loin par ses nombreuses expériences dans lesquelles il a porté une sagacité et une constance égales à leur délicatesse. Mais l'hygromètre employé par ce célèbre physicien était celui dont la pièce principale

(1) Essais sur l'Hygrométrie, n° 86 et suiv.

est,

est, comme nous l'avons dit, une bandelette de baleine, et il est au moins douteux que la marche de cet instrument s'accorde avec celle de l'hygromètre à cheveu, auquel les physiciens paroissent avoir donné la préférence.

L'hygromètre a été long-temps négligé dans les observations météorologiques; on juge aisément d'après tout ce qui précède, combien il est nécessaire de l'associer au thermomètre et au baromètre, pour être en état de débrouiller la complication des différentes causes qui influent sur les variations de l'atmosphère; et ce ne sera qu'à l'aide d'une longue suite d'observations faites par le concours de ces divers instrumens, jointes à toutes les indications qui se tirent de l'état du ciel, que nous obtiendrons des données pour présager, avec une grande vraisemblance, les changemens de temps, et parvenir à une théorie plausible sur cet objet si intéressant, et naturellement fait pour piquer notre curiosité. Nous sommes dans une dépendance continuelle de l'atmosphère et de l'alternative des jours sereins et pluvieux, pour les travaux de l'agriculture, pour nos voyages, pour nos diverses entreprises, et même pour nos fêtes. Nous trouverions à la fois l'utile et l'agréable dans un genre de connaissances qui nous mettrait à portée de nous précautionner contre ce qui fait nos craintes, et d'aller au-devant de ce qui fait nos espérances.

Des Tubes Capillaires.

312. Toutes les eaux tranquilles ont leur surface de niveau, lorsque leurs molécules ne sont sollicitées que par les actions de la pesanteur, dont les directions sont toujours perpendiculaires à cette même surface. Mais il suffit de plonger un corps dans le liquide, pour que ce niveau soit altéré. Si le corps est, par exemple, une lame de verre, la partie adjacente du liquide s'infléchit en se relevant vers chaque face, de manière que tous ses points de contact avec elle forment une ligne horizontale située au-dessus du niveau. Dans la Figure 24, *a b e g* représente une coupe de la lame de verre, faite par un plan vertical,

perpendiculairement aux grandes faces de cette lame ; $Mc'cN$ le niveau de l'eau, et hf, $h'f'$ les deux courbures de ce liquide.

313. Si l'on substitue un tube à la lame de verre, l'eau s'élevera de même au dedans et au dehors, en formant deux petites concavités dont les bords supérieurs coïncideront avec deux anneaux du tube situés au-dessus de celui qui répond au niveau. Mais nous ne nous occuperons guère dans la suite que de la concavité qui est produite à l'intérieur.

Tant que le tube aura un diamètre d'une certaine étendue, la concavité ne sera sensible qu'auprès de ses parois, ensorte que l'eau paraîtra encore de niveau dans toute la partie moyenne de la surface circonscrite par le tube. A mesure que l'on choisira des tubes plus étroits, la concavité s'infléchira davantage ; il y aura un terme où le point qui répond à l'axe du tube commencera à dépasser visiblement le niveau ; et enfin, si l'intérieur du tube représente un cylindre très-délié, le liquide, au moment de l'immersion, s'y élancera, et y demeurera suspendu à une hauteur considérable. Cette expérience qui place le phénomène dans une des circonstances où il est le plus frappant, a fait naître la dénomination qu'on lui a donnée de *Phénomène des tubes capillaires*, quoiqu'il soit soumis, comme les autres, à la loi de continuité, et marche par un progrès de nuances imperceptibles.

314. Les mêmes effets ont lieu, proportion gardée, par rapport à tous les autres liquides susceptibles de mouiller le verre, ce qui n'est pourtant pas aussi généralement vrai qu'on l'avait cru d'abord, comme nous l'expliquerons dans la suite. Mais si l'on emploie le mercure, les changemens de figure et de position que subira la surface de ce métal liquide se feront en sens opposé. Dans l'expérience d'une simple lame de verre, la partie adjacente du mercure s'infléchira de part et d'autre, de manière que les extrémités de chaque courbure fh ou $f'h'$ (*fig.* 25) seront sur une ligne horizontale abaissée au-dessous du niveau. En employant un tube, surtout s'il est étroit, on verra la surface du métal liquide prendre à l'intérieur une figure

convexe, dont les bords adhéreront à un anneau du tube inférieur au niveau : mais cet effet suppose que l'on prenne le tube tel qu'il se présente; car nous verrons dans la suite, qu'au moyen de certaines précautions on peut obtenir de même l'élévation du mercure au-dessus du niveau.

315. La loi du phénomène, telle que la donne l'expérience, consiste en ce qu'un même liquide s'élève dans différens tubes homogènes, à des hauteurs qui sont à très-peu près en raison inverse des diamètres de ces tubes (1); et s'il s'agit du mercure, son abaissement au-dessous du niveau est soumis au même rapport.

316. L'observation fait voir encore que les hauteurs auxquelles différens liquides s'élèvent dans un même tube, n'ont pas lieu en raison de la légéreté spécifique de ces liquides; par exemple, l'alkohol et les huiles s'y élèvent moins que l'eau.

317. Enfin, si l'on enduit l'intérieur du tube d'une couche mince de matière grasse, telle que le suif, le liquide dans lequel on plonge ce tube, s'abaisse d'abord au-dessous du niveau, en formant une légère convexité à sa surface supérieure. Mais peu à peu il monte dans le tube, arrive au niveau, puis s'élève au-dessus, quoique d'une moindre quantité que si l'intérieur du tube était net; et alors sa surface supérieure est concave.

---

(1) Pour que ces expériences, qui sont délicates, donnent des résultats comparables, il faut d'abord plonger le tube entièrement dans le liquide, et après l'avoir retiré, le secouer à plusieurs reprises, ou le frapper avec un autre corps, jusqu'à ce que ses parois ne soient plus que légérement humectées. La nécessité de ces précautions avoit été sentie par Hauksbée, et c'est parceque plusieurs physiciens les ont négligées, que l'on trouve tant de diversités dans les hauteurs auxquelles ils disent avoir vu l'eau, et d'autres liquides, s'élever dans des tubes d'un diamètre donné.

Diverses causes dont on a fait dépendre les effets des Tubes Capillaires.

318. L'explication des phénomènes que nous venons de décrire a fort exercé la sagacité des physiciens. Les uns ont essayé d'en rendre raison, en supposant que l'air ne pouvant s'introduire dans le tube que difficilement et en petite quantité, y exerçait sur la colonne intérieure, une pression moins forte que celle de l'air environnant sur le liquide extérieur ; et si on leur objectait que les mêmes effets ont lieu dans le vide, ils répondaient que, comme on ne pouvait jamais faire un vide parfait, l'air qui restait sous le récipient dans toutes les parties extérieures au tube, conservant le même rapport avec l'air intérieur, l'inégalité de pression et la différence de niveau qui en était la suite, devaient encore subsister : d'autres avaient recours à un fluide subtil, pour expliquer le phénomène, et les opinions se partageaient de nouveau sur la manière d'agir de ce fluide. Suivant les uns, ses parties étaient d'une forme globuleuse qui ne leur permettait pas de s'arranger exactement dans un tube d'un petit diamètre, pour exercer, sur la colonne qui occupait ce tube, une pression égale à celle que les colonnes extérieures éprouvaient de la part du même fluide ; selon d'autres, la matière subtile formait de petits tourbillons, dont les molécules ayant un mouvement circulaire dans des plans qui passaient par l'axe du tube, et venant à rencontrer l'orifice inférieur, poussaient de bas en haut la colonne renfermée dans ce tube.

Une seule considération suffisait pour renverser toutes ces hypothèses ; c'est que les hauteurs auxquelles s'élèvent différentes liqueurs dans un même tube, ne sont pas en rapport avec la légéreté spécifique de ces liqueurs, ce qui aurait pourtant lieu dans ces mêmes hypothèses, puisque le fluide subtil qui produirait les phénomènes, de quelque manière qu'il agît, devrait favoriser davantage l'élévation des liquides moins

denses, qui seraient par là moins susceptibles de s'opposer à son action.

Ainsi, les physiciens s'agitaient inutilement pour trouver, dans des agens extérieurs et invisibles, la véritable cause du phénomène ; tandis que cette cause existait dans le tube même qu'ils avaient entre les mains, et dépendait de cette espèce d'attraction que l'on a désignée par le nom d'*attraction dans les petites distances*.

319. Newton, après avoir trouvé, dans la gravitation universelle, le principe des mouvemens célestes et des phénomènes où la nature agit en grand sur des masses, quelquefois séparées par d'immenses intervalles (39), avait observé aussi les effets d'une certaine attraction qui n'agissait que près du contact, et de molécule à molécule. Les chimistes, qui avaient continuellement sous les yeux des exemples de l'action de cette force, dans la composition et la décomposition des corps, l'adoptèrent sous le nom d'*affinité*. Les physiciens ont été plus tardifs à la reconnaître dans d'autres effets, où les substances qu'elle sollicite, conservent leur état naturel, comme cela a lieu par rapport au phénomène des tubes capillaires. Ils aimaient mieux attribuer ces effets à la pression de quelque effluve, ou de quelque tourbillon de matière subtile, qui s'offrait sous l'apparence spécieuse d'une cause mécanique, mais que les phénomènes démentaient toujours par quelque endroit, quoiqu'on fût le maître de l'y adapter d'avance, en la modifiant à volonté. C'était comme le dernier refuge des tourbillons qui, après avoir été bannis des espaces célestes, cherchaient à se maintenir dans les recoins de la nature où l'attraction, reproduite sous une autre forme, leur disputait encore la place. On comparait cette attraction à la première ; et comme elle semblait en différer par sa manière d'agir, à raison des distances, et que d'ailleurs elle se modifie suivant la diversité des circonstances où elle agit, on accusait les physiciens qui l'adoptaient, de la multiplier arbitrairement, et d'imaginer autant d'attractions particulières qu'il se présentait de nouveaux faits à expliquer. Mais un examen attentif

suffisait pour faire reconnaître qu'en supposant même que cette attraction soit distinguée de la gravitation universelle, elle n'en est pas moins une force unique dans son genre, qui s'étend à une classe nombreuse de phénomènes, et dont les diversités dépendent de celles qui existent entre les corps mêmes sur lesquels son action s'exerce. Newton remarquait que cette force une fois admise, la nature entière devenait simple et partout d'accord avec elle-même ; tandis que l'astronomie physique d'une part, et la physique ordinaire de l'autre, avaient chacune leur attraction, et partageaient entre ces deux forces l'explication des mouvemens qui, de loin, frappent nos regards, et de ceux qui demandent à être suivis de près. Mais peut-être même n'est-ce pas en dire assez, puisqu'à l'aide d'une hypothèse plausible dont nous avons parlé plus haut (85), on parviendrait à simplifier encore le tableau, en ramenant les deux attractions à l'unité.

320. La plupart des physiciens modernes s'accordent à regarder l'attraction dans les petites distances comme la véritable cause des phénomènes que présentent les tubes capillaires. Mais ils diffèrent entre eux dans leur manière de concevoir le mécanisme à l'aide duquel cette cause élève l'eau au-dessus de son niveau. Suivant Hauksbée, aussitôt qu'un tube capillaire entre dans l'eau par une de ses extrémités, l'anneau de verre, situé au même endroit, agissant par des forces perpendiculaires sur la petite lame de liquide que l'immersion a mise en contact avec son intérieur, la rend spécifiquement plus légère ; la pression de cette lame sur les parties situées au-dessous d'elle se trouvant ainsi diminuée, celle du liquide environnant, qui est devenue prépondérante, pousse la lame d'eau dans l'intérieur de l'anneau suivant, et fait entrer une nouvelle lame à sa place dans l'intérieur de l'anneau terminal. Les deux anneaux exerçant alors des actions semblables à la première, sur la portion de liquide qui les baigne, la pression de l'eau environnante fait monter une nouvelle couche d'eau dans le tube, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la colonne de liquide soit parvenue à une telle hauteur, que son poids, diminué

par l'attraction, fasse équilibre à la pression du liquide environnant (1).

Jurin, qui a fait une suite d'expériences intéressantes sur les effets des tubes capillaires, attribue au contraire l'élévation de l'eau à l'attraction de l'anneau situé immédiatement au-dessus de la colonne que forme ce liquide. Dans cette hypothèse, la force qui fait monter l'eau, et celle qui la tient ensuite suspendue à sa plus grande hauteur, s'exercent constamment de bas en haut, dans des directions à-peu-près parallèles à l'axe du tube, ce qui s'écarte moins de la vérité que le mécanisme imaginé par Hauksbée, pour expliquer le même phénomène (2).

Veitbrecht a publié sur le même sujet un travail fort étendu, dans lequel il procède méthodiquement, par une suite de propositions, dont l'enchaînement donne une apparence spécieuse à sa théorie (3). Il se rapproche de l'opinion de Jurin, sur la partie du tube dans laquelle réside l'action principale, et il établit une distinction, dont on sentira dans la suite la justesse, entre la couche d'eau qui baigne le tube, jusqu'à la distance à laquelle s'étend l'attraction du verre, et le cylindre formé par la partie du liquide que cette couche enveloppe. Selon lui, cette même couche est soutenue par l'anneau de verre situé au-dessus d'elle, tandis qu'elle sontient, à son tour, à l'aide de la cohérence, les molécules qui composent le cylindre intérieur.

321. Les auteurs de ces hypothèses ont cru pouvoir démontrer rigoureusement le rapport inverse entre les élévations ou les abaissemens d'un même liquide, et les diamètres des tubes que l'on y plongeait, en supposant ces tubes homogènes. Par exemple, dans l'hypothèse de Jurin, lorsque le liquide s'éle-

---

(1) Expériences Physico-Mécaniques sur différens sujets, Paris, 1754, t. II, p. 142 et suiv.

(2) Voyez les Leçons de Physique expériment., par Côtes, p. 410 et suiv.

(3) Mémoires de l'Académie de Pétersbourg, t. IX.

vait au-dessus du niveau dans deux tubes différens, les attractions étaient entre elles comme les circonférences de ces tubes, ou, ce qui revient au même, comme leurs diamètres; mais elles étaient en même temps comme les poids des cylindres de liquide suspendus dans les tubes, c'est-à-dire comme les carrés des diamètres multipliés par les hauteurs, ce qui donne le rapport inverse entre le diamètre et la hauteur (1).

Le grand défaut de ces hypothèses et de plusieurs autres que nous omettons, provenait des abstractions que leurs auteurs se permettaient, ensorte qu'un fait réellement compliqué d'une multitude d'actions différentes et inégales, devenait d'une simplicité illusoire, par la manière vague dont ils le considéraient. Il semblait que le principe eût été arrangé, pour arriver aux conséquences indiquées par l'observation des phénomènes.

322. Clairaut est le premier qui ait entrepris de soumettre ces phénomènes à une analyse vraiment rigoureuse. Il envisagea, dans leur ensemble, les diverses forces qui concourent à les produire, telles que la pesanteur, l'attraction des molécules du tube sur les molécules du liquide, et les attractions mutuelles de ces dernières; et, de plus, il eut égard à une circonstance essentielle, négligée par les autres physiciens, savoir, la figure concave ou convexe que prend la surface supérieure du liquide renfermé dans le tube (2). Mais sa théorie, conçue d'ailleurs avec beaucoup de sagacité, ne résout la question que d'une manière incomplète. Il se contente de faire voir qu'il y a une infinité de lois d'attraction admissibles, parmi lesquelles on pourra toujours en choisir une qui donne le rapport inverse entre le diamètre du tube et l'élévation du liquide au-dessus du niveau. Ainsi il prouve bien que sa formule renferme le mot de l'énigme, mais sans pouvoir le donner. L'imperfection de sa méthode tient à ce qu'il supposait que l'attraction du tube capillaire s'étendait à des distances sen-

(1) Soient D, d, les diamètres, et H, h les hauteurs; on aura par la supposition, $D : d :: D^2 \times H : d^2 \times h$; d'où l'on tire $H : h :: d : D$.

(1) Théorie de la Figure de la Terre, p. 105 et suiv.

sibles, ce qui l'a conduit à faire entrer dans sa théorie des termes qui s'évanouissent, et dont il eût fallu la débarrasser.

Théorie de Laplace.

323. Le travail de Clairaut qui, malgré ce qu'il laisse à desirer, efface tout ce qu'on avait fait jusqu'alors en ce genre, disparaît à son tour devant celui de Laplace. Ce savant illustre, en considérant l'action du tube capillaire comme sensible seulement à des distances imperceptibles, a d'abord restreint le problème à ses véritables données, et les géomètres en état de suivre ses calculs, reconnaîtront doublement l'auteur de la *Mécanique Céleste*, dans une solution où il s'est servi des mêmes formules qu'il avait créées pour expliquer les plus grands phénomènes de la nature (1). Dans l'exposition raisonnée que nous allons donner des résultats auxquels il est parvenu, nous suivrons la marche qu'il a bien voulu lui-même nous tracer.

Action d'une masse de Liquide sur une colonne située à l'intérieur.

324. Nous supposerons d'abord que la masse de liquide dont nous avons à considérer l'action ait une base plane, parceque cette action entre comme élément dans la détermination de celle qu'exerce un liquide convexe ou concave.

Représentons par *abcd* (*fig.* 26) la masse dont il s'agit, et examinons l'effet de son attraction, à des distances imperceptibles, sur une colonne infiniment déliée *or* renfermée dans son intérieur, et perpendiculaire à la base *ab*. Ayant pris dans la partie supérieure *oz* de cette colonne une molécule *m*, située à une distance de *ab* moindre que le rayon de la sphère d'attraction sensible du liquide, si nous menons, en dessous de la molécule, un plan *lk*, dont elle soit autant éloignée que du

(1) Théorie de l'Action Capillaire, ou Supplément au dixième Livre du Traité de Mécanique céleste. Paris, 1806.

plan *ab*, il est visible qu'elle sera également attirée vers le haut et vers le bas, par la petite masse de liquide qu'interceptent les deux plans *ab*, *lk*, puisqu'il y a égalité entre les quantités de liquide situées de part et d'autre. Mais le liquide inférieur au plan *lk*, et dont l'action n'est balancée par aucune autre, attirera la molécule *m* vers le bas, et cet effet aura lieu jusqu'à une distance égale au rayon de la sphère d'attraction sensible du liquide. Le même raisonnement s'applique à toute autre molécule éloignée de *ab* d'une quantité plus petite que la distance dont nous venons de parler. Or, comme la partie *oz* de la colonne agit à son tour sur les parties inférieures, en les poussant vers le bas, nous pouvons considérer l'effet de l'attraction comme une pression que la colonne exercerait sur une base située dans l'intérieur de la même colonne, perpendiculairement à ses côtés, et à une distance sensible de la surface *ab*.

325. Il ne sera pas inutile de considérer aussi l'action de la masse *abcd* sur une colonne infiniment déliée *or'* renfermée dans un canal situé au-dessus du plan *ab*, de manière que son axe coïncide avec le prolongement de celui de la colonne *ro*. Choisissons, dans la première, une molécule *m'* dont la distance au plan *ab* soit la même que celle de la molécule *m* en sens contraire. La masse *abcd* agira sur la molécule *m'*, comme la masse *lkcd* agit sur la molécule *m*, d'où nous conclurons que la molécule *m'* est aussi tirée vers le bas. On pourra étendre la même comparaison à toute autre molécule située dans la colonne *or'*, à une distance convenable de *ab*, en supposant une nouvelle molécule placée à la même distance dans la colonne *or*, et en transportant, par la pensée le plan *lk*, de manière que la nouvelle molécule en soit autant éloignée que du plan *ab*, d'où l'on conclura que l'action de la masse plane *abcd* sur la colonne *or'* produit dans la partie inférieure de cette colonne une tendance à descendre, qui se communique à la colonne entière.

326. Concevons maintenant que la masse de liquide, au lieu d'être plane, soit terminée par une convexité sphérique *qol* (*fig.* 27) d'un rayon quelconque, tangente au plan *ab*, et

voyons ce que devient la première action, par la suppression de l'espèce de menisque *ablq*. Ainsi la question se réduit à déterminer l'action de ce menisque, et à la retrancher de celle de la masse plane. Soit *s* une molécule prise à volonté dans l'intérieur du menisque, à une distance du point o, moindre que le rayon de la sphère d'activité du liquide. Menons la ligne *so*, puis la ligne *sh*, de manière que le triangle *osh* soit isocèle. La molécule *s* exerce sur le point o une force oblique dont une partie agit pour tirer ce même point vers le bas. Mais la molécule *s* exerce sur le point *h* une autre force oblique dont une partie a une action égale pour tirer ce dernier point vers le haut, ensorte que cette action détruit celle qui tend à faire descendre le point o. On peut concevoir dans l'intérieur du triangle d'autres lignes menées du point *s* sur la base *oh*, à des distances égales de ses extrémités, et en appliquant le même raisonnement aux forces qui s'exercent suivant ces lignes, on en conclura que l'action de la molécule *s* est nulle pour faire descendre ou monter la partie *oh* de la colonne *or*.

Mais cette molécule exerce aussi des actions obliques sur les points situés en dessous de *h*, jusqu'à la distance où l'attraction cesse d'être sensible, et parceque l'angle *shr* est obtus, ces actions réduites dans le sens vertical tendent à tirer en haut les points dont il s'agit. Ce que nous disons ici de la molécule *s* a également lieu pour toutes les autres molécules situées dans l'intérieur du menisque *aoblq*, à des distances convenables de la colonne *or*, d'où il suit que l'action totale du menisque s'exerce pour faire mouvoir cette colonne de bas en haut. Or nous avons vu (324) que l'action de la masse terminée par le plan *ab* sollicite au contraire cette colonne à descendre. Donc la suppression du menisque augmente l'action de la masse pour pousser la colonne vers le bas, d'une quantité équivalente à l'action de ce menisque en sens opposé, ou, ce qui revient au même, l'action de la masse convexe est égale à l'action de la masse plane plus à celle du menisque.

327. Prenons au-dessus du plan *ab* un nouveau menisque *fogba*, dont la concavité soit tournée vers le haut, et cherchons

aussi l'action de ce menisque sur la colonne *or*. Si du point *o* nous menons *on* parallèle et égale à *hs*, une molécule placée en *n* agira sur les molécules situées au-dessous de *o*, comme la molécule placée en *s* agit sur les molécules inférieures à *h*, et parceque la même comparaison a lieu entre tous les autres points semblablement situés dans l'intérieur des deux menisques, nous en conclurons que l'action totale du menisque *fogba* tend aussi à faire monter la colonne *or*, ou, ce qui revient au même, à détruire une partie de l'action produite par la masse plane. Or cet effet devient ici négatif par l'addition du menisque. Donc l'action de la masse terminée par la surface concave *fog* est égale à l'action de la masse plane, moins l'action du menisque *fogba*.

328. Si l'on suppose que la ligne *ab* qui mesure la corde de l'arc *fog* ou *qol* étant constante, la courbure de cet arc devienne plus sensible, ou forme une plus grande partie de la circonférence, le rayon de celle-ci deviendra toujours plus petit. En même temps le nombre des molécules contenues dans chacun des deux menisques augmentera, et, par une suite nécessaire, l'action du menisque s'accroîtra elle-même. Or M. de Laplace démontre par l'analyse que cette action est en raison inverse du rayon de la surface sphérique (1).

329. Ces résultats ont conduit M. de Laplace à un très-beau théorème dont nous allons essayer de donner une idée. Imaginons un corps terminé par une surface curviligne d'une figure quelconque, et prenons, dans l'intérieur de ce corps un canal infiniment délié perpendiculaire à la surface dans un point

---

(1) Soit H une quantité constante, et b le rayon de la surface sphérique. L'action du menisque sera en général $\frac{H}{b}$, et si nous désignons par K l'action de la masse plane, celle de la masse convexe sera $K + \frac{H}{b}$, et celle de la masse concave sera $K - \frac{H}{b}$. Nous observerons que K est beaucoup plus grand que $\frac{H}{b}$. La manière dont H et K dépendent de la loi d'attraction est développée dans le Mémoire de M. de Laplace.

quelconque. Si nous supposons cette même surface coupée dans tous les sens par des plans qui lui soient perpendiculaires et qui passent par le point dont il s'agit, ces plans intercepteront diverses courbes dont chacune aura un cercle osculateur au point dont il s'agit, et parmi tous les rayons de courbure relatifs aux différens cercles, le plus grand et le plus petit seront situés dans deux plans perpendiculaires entre eux. Or l'action du corps sur le canal dont nous avons parlé est égale à la demi-somme des actions que deux sphères qui auraient pour rayons le plus grand et le plus petit des rayons de courbure, exerceraient chacune sur un canal semblable situé à l'intérieur. Dans le cas où le canal que renferme le corps répondrait au point situé comme o, et où le solide serait de révolution, autour de la perpendiculaire à ce même point, il est visible que tous les rayons de courbure étant égaux, il y aurait aussi égalité entre les deux sphères dont les actions, prises par moitié, donnent celle du corps, d'où il suit que l'action sera la même que celle d'une des deux sphères.

330. La même théorie sert à déterminer la figure de la courbe que produit la section de la surface du liquide par un plan vertical. Lorsque ce liquide est renfermé dans un vase indéfini, la courbe dont il s'agit est semblable à celle que les géomètres nomment *élastique*, parceque c'est la figure que prend une lame de ressort fixée horizontalement, par une de ses extrémités, à un plan vertical, et chargée, à l'extrémité opposée, d'un poids dont l'action force cette lame de s'infléchir. L'analogie entre la figure de la section dont nous venons de parler et celle de l'élastique, provient de ce que dans l'une et l'autre la force due à la courbure est réciproque au rayon du cercle osculateur.

331. Dans les tubes étroits, la surface du liquide approche de celle d'un segment sphérique, à mesure que le diamètre de ces tubes est plus petit, et le changement de figure se fait alors d'une manière si peu sensible, que quand les tubes sont en même temps homogènes, les segmens sont à très-peu-près semblables. C'est ce que l'on concevra, si l'on fait attention

que la distance à laquelle l'action du tube cesse d'être appréciable est presque nulle ; « ensorte, dit M. de Laplace, que si, par le moyen d'un très-fort microscope, on parvenait à la faire paraître égale à un millimètre, il est vraisemblable que le même pouvoir amplifiant donnerait au diamètre du tube une grandeur apparente de plusieurs mètres ». La surface du tube peut donc être considérée comme étant plane à très-peu-près dans un intervalle mesuré par cette distance. Le liquide qui répond à cet intervalle, s'élevera donc ou s'abaissera depuis la surface à très-peu-près comme si elle était plane, d'où il résulte que les premiers élémens de la courbure auront sensiblement la même inclinaison dans les différens tubes.

Au-delà, le liquide n'étant plus soumis qu'à l'action de la pesanteur et à son action sur lui-même, la première n'a qu'une très-légère influence pour troubler l'autre, soit parceque la différence de niveau est très-peu sensible dans le petit espace qui répond au diamètre du tube, soit parceque l'action du liquide sur lui-même a d'autant plus de supériorité sur celle de la pesanteur, que le rayon de courbure de la surface est plus petit. Dans ce cas, la surface sera, à très-peu-près, celle d'un segment sphérique, dont les côtés extrêmes étant les mêmes que ceux des plans situés à l'extrémité de la sphère d'attraction, sont également inclinés aux parois du tube, quel que soit son diamètre, d'où il suit que tous les segmens seront aussi à très-peu-près semblables entre eux. Il résulte de cette similitude, que les rayons des surfaces convexes ou concaves du liquide, dans les tubes étroits, sont sensiblement proportionnels aux diamètres de ces tubes. On verra bientôt où tend cette conséquence remarquable.

332. Si le tube est incliné à l'horizon, la surface du liquide est encore à très-peu-près celle d'un segment sphérique, auquel l'axe du tube est perpendiculaire, parceque l'action de la pesanteur dans les tubes très-étroits, peut être négligée relativement à l'action capillaire.

Application de la Théorie précédente aux Phénomènes des Tubes Capillaires.

333. Soit *epcd* (*fig.* 28) la coupe d'un tube capillaire plongé verticalement dans l'eau, dont le niveau est indiqué par l'horizontale MN; soit *fog* la surface concave de l'eau contenue dans le tube, et *or* une colonne infiniment déliée de ce liquide, située à l'endroit de l'axe du tube. Prenons de même dans l'eau environnante nne colonne verticale *hs*, infiniment déliée, et assez éloignée du tube, pour qu'il n'ait point d'influence sur elle, puis imaginons un canal horizontal *sr*, à l'aide duquel les deux colonnes soient en communication. Il s'agit de prouver que les forces qui sollicitent ces colonnes et les tiennent en équilibre l'une avec l'autre, déterminent dans la colonne *or* une élévation au-dessus du niveau, qui est en raison inverse du diamètre du tube.

Il suit de ce qui a été dit ci-dessus (327), que si la colonne *or* avait une hauteur simplement égale à celle de la colonne *hs*, sa pression sur la base *r* serait moindre que celle de la colonne *hs* sur la base *s*, la première colonne étant terminée par une surface concave, tandis que la seconde l'est par une snrface plane; ainsi le liquide s'élevera dans le tube au-dessus de son niveau, pour compenser la différence de pression, par l'augmentation de poids. Or cette compensation dépend de l'action négative du menisque *fgba*, laquelle est en raison inverse du rayon de courbure au point *o* (328). Mais dans les tubes étroits, les surfaces des menisques ont à très-peu-près la figure d'nn segment de sphère, et de plus sont semblables entre elles (331), ensorte que lenrs rayons sont proportionnels aux diamètres des tubes et en même temps aux rayons de courbure. Donc l'action du menisque suit aussi la raison inverse du diamètre du tube, et parconséquent l'élévation du liquide au-dessus du niveau est soumise an meme rapport.

Il résulte d'une expérience citée par Newton (1), que dans

(1) Optice lucis, lib. III, quæst. 31.

un tube de verre dont le diamètre était de $\frac{1}{50}$ de pouce anglais (0,$^{mil.}$ 508), l'eau s'élevait à un pouce anglais (25,$^{mil.}$ 4). Nous avons obtenu, en employant un tube dont le diamètre était de 2 millimètres, une élévation d'environ 6,$^{mil.}$ 75 (1), résultat qui, comparé à celui de Newton, donne à-peu-près le rapport inverse entre les élévations du liquide et les diamètres des tubes (2); avec un autre tube dont le diamètre était de 1,$^{mil.}$ 33, l'élévation a été d'environ 10 millimètres. Nous avons trouvé que l'élévation de l'huile d'orange était à-peu-près la moitié de celle de l'eau.

334. Supposons maintenant que la surface du liquide intérieur, au lieu d'être concave, soit convexe, comme on le voit (*fig.* 29). Alors la pression de la colonne infiniment déliée *or* sur la base *r*, étant plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, que celle d'une colonne *hs*, prise dans le liquide environnant, sur la base *s* (326), l'effet de la compensation qui en résulte est de raccourcir la colonne *or*. Cette compensation est due à l'action positive qui provient de la suppression d'un menisque semblable à *aoblq* (*fig.* 27), et l'on prouvera par un raisonnement analogue à celui que nous avons fait pour le cas représenté (*fig.* 28), que quand les tubes sont étroits, l'action dont il s'agit suit la raison inverse de leurs diamètres, d'où l'on conclura que l'abaissement du liquide au-dessous de son niveau est soumis au même rapport.

Nous avons employé, pour les expériences de ce genre, les mêmes tubes qui nous avaient servi pour celles que nous avions faites sur l'eau. Avec le tube de deux millimètres de diamètre, le mercure s'est abaissé de 3,$^{mil.}$ 66 au-dessous de son niveau; avec le tube de 1,$^{mil.}$ 33 de diamètre, l'abaissement a été de 5$^{mil.}$, 5.

(1) Nous avons fait cette expérience, ainsi que la plupart de celles dont nous parlerons dans la suite, conjointement avec M. Tremery, ingénieur des mines et professeur de physique, et avec M. Tondi, savant napolitain, attaché au Museum d'Histoire naturelle.

(2) On trouve, par le calcul, 6$^{mil.}$,45, en partant du résultat de Newton.

Cause

Cause de l'abaissement du Mercure au-dessous de son niveau.

331. Les résultats des expériences ordinaires faites avec le mercure dans lequel on plonge un tube capillaire, semblent, au premier coup d'œil, déterminer une nouvelle ligne de séparation entre les propriétés de ce métal et celles des liquides aqueux. Mais diverses observations prouvent que l'abaissement du même métal au-dessous du niveau, lorsqu'il a lieu, est l'effet d'une légère couche d'humidité, qui tapisse la surface intérieure du tube, et dont l'interposition affaiblit très-sensiblement la vertu attractive du verre à l'égard du mercure. Casbois, professeur de physique à Metz, est parvenu, par un procédé ingénieux, à renfermer du mercure parfaitement desséché dans un siphon de verre, dont une des branches était capillaire, et l'autre avait un diamètre d'une certaine étendue; elles étaient scellées toutes les deux à leurs extrémités, et purgées d'air à l'intérieur. Le siphon étant situé de manière que sa convexité regardait la terre, le mercure s'élevait de 2 ou 3 lignes plus haut dans la branche étroite que dans l'autre. Un baromètre capillaire, qui avait été construit en même temps, offrait une différence égale dans l'élévation de la colonne de mercure qui occupait le tube, lorsqu'on le comparait avec un baromètre ordinaire (1).

332. Laplace et Lavoisier ayant soumis du mercure à une longue ébullition, avant de l'introduire dans le tube d'un de ces derniers baromètres, ont fait disparaître la convexité qui termine communément la colonne de ce métal liquide. Ils sont même parvenus à rendre cette colonne plane, à l'endroit de sa base. Mais ils ont toujours rétabli l'effet de la capillarité, en introduisant une goutte d'eau dans le tube. Ainsi le mercure ne prend une marche opposée à celle de l'eau, que par l'interven-

(1) Dictionnaire Encyclopédique, Supplément, t. IV, p. 981.

tion d'une cause qui est étrangère et à ce métal liquide et au tube. C'est un effet analogue à celui que l'eau subit de son côté, lorsque le tube que l'on y plonge a été enduit intérieurement d'une matière grasse, qui dérobe au contact du verre les molécules aqueuses, et n'ayant par elle-même qu'une faible action sur le liquide, détermine la circonstance où sa surface devient convexe, et où, par une suite nécessaire, il se tient au-dessous du niveau.

Cas où le Liquide est terminé par une surface cylindrique.

333. Il est facile de conclure de tont ce qui a été dit jusqu'à présent, que l'élévation de l'eau au-dessus du niveau doit avoir lieu aussi entre deux lames de verre situées parallélement l'une à l'autre, de manière à laisser entre elles un petit intervalle, et plongées dans le liquide par leurs extrémités inférieures. La surface de ce liquide forme alors une espèce de sillon, semblable à une portion détachée d'un cylindre creux, parallélement à l'axe. La section de la surface dont il s'agit, prise dans un sens perpendiculaire aux faces des deux lames, est encore un arc de cercle, lorsque les lames sont très-rapprochées, et cet arc est le même que dans un tube dont le diamètre serait égal à la distance entre les lames, parceque, comme on l'a vu (331), les côtés extrêmes de la conrbure ont les mêmes positions relativement à un plan que relativement aux parois d'un tube. Concevons maintenant, à l'endroit le plus bas de la surface concave du liquide intérieur, un canal infiniment délié, qui se repliant en dessous des lames, aille aboutir à la surface du liquide environnant. Pour faciliter cette conception, on peut supposer que *pc*, *ed* (*fig.* 28), soient les sections des deux lames, prises perpendiculairement aux faces de ces mêmes lames; *orsh* représentera le canal dont il s'agit.

Or le liquide s'élève entre les deux lames, en raison de l'action du menisque compris entre un plan horizontal *ab*, mené à l'endroit le plus bas de la surface concave *fog* du

liquide, et cette même surface. L'action dont il s'agit est, d'après le théorème (329), égale à la demi-somme des actions des menisques formés semblablement par deux surfaces sphériques, dont l'une aurait pour rayon celui de la section qu'offre la figure, et l'autre celui de la section perpendiculaire à la précédente ; mais parceque cette dernière section est une ligne droite, son rayon est infini, et parconséquent le menisque qui lui correspond devient nul. Il ne reste donc plus, pour représenter l'élévation du liquide, que la moitié de l'action du menisque formé par la première sphère, tandis que relativement à un tube dont le diamètre est égal à la distance qui sépare les deux lames, l'élévation du liquide est représentée par l'action entière du menisque. Ainsi le liquide doit s'élever une fois moins entre les deux lames que dans le tube dont il s'agit. M. de Laplace a généralisé ce résultat, en l'étendant au cas de deux tubes cylindriques emboîtés l'un dans l'autre, de manière que leurs axes se confondent, et que l'intervalle entre la surface intérieure du plus gros et la surface extérieure du plus mince soit capillaire. L'élévation du liquide dans cet intervalle est encore la moitié de celle qui aurait lieu dans un tube, dont le diamètre serait égal à la distance entre les deux tubes dont nous venons de parler. Le cas de deux lames parallèles est renfermé dans le théorème général dont nous venons de parler ; car il suffit de supposer les rayons des deux tubes infinis, pourvu que l'espace intermédiaire reste capillaire.

334. Le célèbre auteur de la Théorie, après avoir découvert ce rapport remarquable, desirait qu'on le vérifiât par l'observation. Il a reconnu depuis, en parcourant l'Optique de Newton, que ce grand physicien semblait avoir prévenu son desir, dans des expériences faites avec beaucoup de soin en présence de la Société royale de Londres, et qui lui avaient présenté la même égalité entre l'intervalle qui séparait deux lames de verres parallèles l'une à l'autre, et le demi-diamètre d'un tube dans lequel l'eau s'élevait de la même quantité (1).

(1) Optice lucis, lib. III, quæst. 31.

Ce tube, dont nous avons déjà parlé (333), avait $\frac{1}{50}$ de pouce anglais ($0^{millim.},508$) de diamètre; et l'eau s'y élevait d'un pouce ou $25^{mil.},4$; or l'élévation du liquide était la même entre deux lames distantes l'une de l'autre de $\frac{1}{100}$ de pouce anglais ou de $0^{mil.},254$. Dans une expérience que nous avons faite avec des lames séparées par une distance d'un millimètre, l'eau s'est élevée à $6^{mil.},5$, quantité qui est à-peu-près la même que celle qui avait mesuré l'élévation du liquide dans notre tube de deux millimètres de diamètre.

Nous avons soumis aussi à l'expérience deux tubes emboîtés l'un dans l'autre, dont les axes coïncidaient. Le diamètre intérieur du plus large était de 8 millimètres, et le diamètre extérieur du plus étroit était de $5^{mil.},5$, ce qui donne $1^{mil.},25$ pour la distance entre l'un et l'autre. L'eau s'est élevée un peu au-dessus de 5 millimètres dans l'intervalle mesuré par cette distance. Deux autres tubes avaient, l'un son diamètre intérieur de 5 millimètres, l'autre son diamètre extérieur de 3 millimètres, ce qui donne un millimètre de distance. L'élévation de l'eau a été un peu moindre que 7 millimètres. Ces résultats s'accordent à-peu-près avec ceux qu'on obtiendrait, en employant des tubes simples, dont le demi-diamètre serait égal à la distance entre les deux tubes. Ainsi le théorème général se trouve vérifié dans les deux cas extrêmes.

Les physiciens qui avaient essayé de donner une explication des phénomènes produits par les tubes capillaires, ne s'étaient point occupés de comparer l'action qui a lieu dans un de ces tubes avec celle qui s'exerce entre deux surfaces parallèles. La manière vague dont ils concevaient ceux de ces phénomènes qui se présentent comme d'eux-mêmes à l'observation, leur interdisait, en quelque sorte, l'approche de ces résultats plus éloignés, qui ne pouvaient être accessibles que pour une théorie susceptible d'être soumise au calcul.

De la Courbe que forme la surface supérieure de l'Eau, entre deux lames réunies sous un petit angle.

335. On peut disposer les deux lames de verre de l'expérience précédente, de manière qu'elles se touchent par un de leurs bords, et forment entre elles un angle très-aigu : si on les plonge dans l'eau de manière que leur ligne de jonction soit perpendiculaire à la surface de ce liquide, on le verra s'élever subitement entre les deux lames, en formant une courbe qui tournera sa convexité vers la ligne de jonction, et qui passera par les extrémités des différentes hauteurs auxquelles doit s'élever le liquide, à proportion que l'intervalle diminue entre les deux lames de verre. Or il est facile de concevoir que cette courbe doit être une hyperbole. Soit $ad'x'x$ (*fig.* 30) une des deux surfaces de l'eau contiguës aux parois intérieures des lames de verre, ax étant la ligne de jonction de cette même surface avec celle de l'eau, dans laquelle les lames de verre sont plongées, et $b'x'$ la courbe formée par les points les plus élevés de l'eau renfermée entre ces lames. Nous pouvons considérer cette eau comme un assemblage d'une infinité de petits cylindres, qui auront pour hauteurs les perpendiculaires xx', tt', rr', etc., menées sur la ligne ax jusqu'à la rencontre de la courbe. Soit zax *fig.* 31 la surface inférieure de l'eau renfermée entre les lames de verre, auquel cas la ligne ax sera la même que *fig.* 30. Si nous menons xz, tu, rs, etc. (*fig.* 31), perpendiculaires sur ax, de manière que les distances xt, tr, ro, etc., soient les mêmes que (*fig.* 30), ces perpendiculaires pourront être considérées comme les diamètres des bases des petits cylindres, dont les hauteurs sont les lignes xx', tt', rr', etc. Or, d'après la loi à laquelle est soumis le phénomène, les hauteurs xx', tt', rr', etc., sont en raison inverse des diamètres xz, tu, rs, etc., (*fig.* 31) des bases ; mais ces diamètres sont entre eux comme leurs distances ax, at, ar, etc., au point a. Donc les lignes xx', tt',

rr', etc., (*fig.* 30) sont aussi en raison inverse des lignes *ax*, *at*, *ar*, etc.; d'où il suit que la courbe *b' x'* est une hyperbole, qui a pour asymptotes les lignes *ax*, *ad'*, de manière que les lignes *xx'*, *tt'*, *rr'*, etc., sont les ordonnées à l'asymptote *ax*, et les lignes *ax*, *at*, *ar*, etc., les abscisses. C'est une suite du rapport inverse dont nous avons déjà parlé. Cette expérience, comme on le voit, est intéressante, en ce qu'elle généralise son objet, et présente une expression géométrique du phénomène, tracée par le liquide même qui le produit.

Du Mouvement des Liquides dans les Tubes coniques, ou entre deux lames inclinées sous un petit angle.

336. Si l'on prend un tube conique, ouvert par ses deux extrémités, et que l'ayant disposé de manière que son axe soit horizontal, on fasse couler dans son intérieur une petite colonne d'eau, ou mieux encore d'huile d'orange, on voit à l'instant celle-ci s'avancer vers le sommet du tube. Il est facile d'en concevoir la raison, d'après la théorie de M. de Laplace. Car, soit *acdb* (*fig.* 32) une section du tube, prise en passant par l'axe *pr* (1), et soit *fgnm* la petite colonne de liquide, dans une position quelconque, entre les extrémités du tube. Les deux bases de cette colonne étant concaves, le menisque auquel appartient la concavité *fg*, dont la courbure est plus sensible, parcequ'elle répond à un plus petit diamètre, agit avec plus de force, pour tirer la colonne vers le sommet, que le menisque terminé par la concavité *mn*, dont le rayon est plus grand, n'agit pour tirer la même colonne vers la base (328). Ainsi, la première action étant prépondérante, la colonne s'approchera de l'extrémité *cd*, de manière que sa vîtesse s'accélérera de plus en plus. C'est une suite de ce que le rapport entre les deux courbures devient toujours plus grand, pendant

(1) Le tube est ici représenté sous la forme d'un cône tronqué, dont la partie supprimée serait *chd*.

le mouvement de la colonne, soit parcequ'elle s'alonge continuellement, à mesure qu'elle approche du sommet, soit parceque la différence des deux menisques tend toujours d'elle-même à s'accroître.

Ce sera le contraire si l'on substitue le mercure à l'eau ou à l'huile d'orange. Dans ce cas, les deux bases de la colonne étant convexes, et la plus grande courbure étant celle de la base supérieure, cette différence déterminera une tendance plus forte de la colonne à s'avancer vers la base du tube, qu'à se porter vers le sommet, et ce mouvement se fera avec une vîtesse qui ira toujours en retardant.

337. Si, au moment où une colonne de liquide tend vers le sommet du tube, on incline peu à peu ce tube à l'horizon, de manière, par exemple, que le point *p* de l'axe restant fixe, le point *r* s'abaisse de plus en plus, le mouvement de la colonne se ralentira, parceque sa tendance à monter sera balancée par l'action contraire de la pesanteur, et il y aura un terme où les deux forces étant en équilibre, la colonne restera immobile. Or, comme d'une part la pesanteur agit davantage, lorsque l'axe du tube est plus incliné, et que d'une autre part la force qui tire la colonne vers le haut du tube est plus grande dans la proximité du sommet, on conçoit qu'en général il faut moins abaisser le tube vers l'horizon, pour obtenir l'équilibre, lorsque la colonne est plus éloignée du sommet, et l'abaisser au contraire davantage, lorsque la colonne est plus voisine du sommet. M. de Laplace a démontré par l'analyse, que quand la longueur de la colonne est très-petite, relativement à la distance du milieu *o* de cette colonne au sommet *h* du tube, et que cependant elle est considérable, relativement au diamètre qui répond à ce même milieu, le sinus de l'angle que fait l'axe du tube avec l'horizon, dans le cas de l'équilibre, est à très-peu près en raison inverse du carré de la distance du milieu de la colonne au sommet (1).

(1) Ayant mené les lignes *ky*, *uz*, tangentes aux arcs *fg*, *mn*, et la ligne *et* parallèle aux précédentes, par le milieu de *lx*, désignons *ho* par *x*, *ol* ou

338. Le même phénomène a lieu, proportion gardée, lorsque l'on emploie deux lames de verre réunies par un de leurs bords, et qui forment entre elles un petit angle. Dans ce cas, on

---

ox par a, et représentons par $\frac{b}{f}$ le rapport entre l'axe constant du tube et son diamètre. Nous aurons $ly : hl = x - a :: f : b$, ce qui donne $ly = \frac{f}{b}(x-a)$. Or l'action du menisque $fkyg$, pour élever une colonne infiniment déliée dont l'axe se confond avec la ligne lx, étant en raison inverse du demi-diamètre du tube, à l'endroit du point l, nous pouvons la représenter par $\frac{H}{ly}$ ou $\frac{Hb}{f(x-a)}$. On trouvera, par un calcul semblable, que l'action du menisque $muzn$, pour tirer en bas la même colonne, est $\frac{Hb}{f(x+a)}$. Soit g la pesanteur et θ l'angle qui mesure l'inclinaison de l'axe du tube. Si l'on ajoute à l'action qui tire la colonne en bas le poids relatif $2ga.\sin.\theta$ de cette colonne, on aura pour la force avec laquelle elle tend à descendre, $\frac{Hb}{f(x+a)} + 2ga.\sin.\theta$, ce qui donne l'équation $\frac{Hb}{f(x-a)} = \frac{Hb}{f(x+a)} + 2ga.\sin.\theta$, d'où l'on tire, $2ga.\sin.\theta = \frac{Hb}{f}\left(\frac{1}{x-a} - \frac{1}{x+a}\right)$. Si l'on développe les deux fractions en séries, et que l'on supprime les dénominateurs qui passent le second degré, l'équation devient $2ga.\sin.\theta = \frac{Hb.2a}{f.x^2}$. Donc, $\sin.\theta = \frac{Hb}{gfx^2}$. Donc H, b, g, f étant des quantités constantes, le sinus de l'angle d'inclinaison est en raison inverse du carré de la distance x entre le milieu de la colonne et le sommet du cône.

Cherchons maintenant la valeur absolue du sinus. Dans un tube dont le demi-diamètre serait ly ou $\frac{f}{b}(x-a)$, l'action du ménisque aurait pour expression $\frac{Hb}{f(x-a)}$; donc dans un tube dont le demi-diamètre serait ot, l'action du menisque devient $\frac{Hb}{fx}$. Soit l la hauteur à laquelle le liquide s'éleverait dans ce tube; on aura $\frac{Hb}{fx} = gl$. Si l'on substitue la seconde valeur dans l'équation $\sin.\theta = \frac{Hb}{gx^2}$, celle-ci devient $\sin.\theta = \frac{l}{x}$, et ainsi ce sinus est à très-peu près égal à une fraction qui aurait pour dénominateur la distance du milieu de la colonne au sommet du cône, et pour numérateur la hauteur à laquelle le liquide s'éleverait dans un tube cylindrique dont le diamètre serait celui du cône au milieu de la colonne.

dispose les lames, de manière que leur bord de jonction soit horizontal, puis on introduit entre elles une goutte de liquide. Si l'on conçoit dans l'intervalle qui les sépare, une ligne qui, étant perpendiculaire sur le bord de jonction, divise par moitié l'angle d'inclinaison des lames, cette ligne est l'axe qui représente celui du cône. Newton, en citant des expériences de ce genre faites par Hauksbée, remarque qu'elles avaient donné le rapport inverse dont nous venons de parler, et qui a lieu ici entre le sinus de l'angle d'élévation, et le carré de la distance du milieu de la goutte à la ligne de jonction des deux lames. Ce grand géomètre essaie d'expliquer le meme rapport, par l'attraction du verre sur le liquide. Mais il faut convenir que son raisonnement ne répond pas à la justesse du résultat qui en est l'objet (1).

---

(1) Optice lucis, lib. III, quæst. 31. Dans le cas dont il s'agit, le sinus de l'angle d'inclinaison est égal à une fraction qui aurait pour dénominateur la distance du milieu de la goutte à la ligne de jonction, et pour numérateur la hauteur à laquelle le liquide s'éleverait entre deux lames parallèles dont la distance respective serait la même que celle des lames inclinées, prise au milieu de la goutte.

Hauksbée a fait diverses expériences de ce genre, en employant l'huile d'orange, dont le mouvement est plus libre que celui de l'eau. Les résultats qu'il a obtenus s'accordent assez bien en général avec le rapport que nous venons d'indiquer; et celui qui offre comme le moyen terme entre tous les autres, parce que le milieu de la goutte répondait à celui de l'axe, est d'une justesse remarquable. La distance entre les deux lames, à leurs extrémités était de $\frac{1}{16}$ de pouce anglais, et la longueur de chaque lame était de 20 pouces. Au moment de l'équilibre, la ligne qui représentait l'axe se trouvait inclinée de 55′ à l'horizon, et la distance entre le milieu de la goutte et la ligne de jonction des deux lames était de 10 pouces; d'où il suit que les lames étaient éloignées entre elles de $\frac{1}{32}$ de pouce, à l'endroit du milieu de la goutte. Or l'eau se serait élevée d'un pouce entre deux lames parallèles situées à une distance respective de $\frac{1}{100}$ de pouce (333), et ainsi l'élévation de l'huile d'orange, dans le même cas, aurait été de $\frac{1}{2}$ pouce; donc elle ne serait parvenue qu'à $\frac{16}{100}$ de pouce, entre deux lames parallèles distantes l'une de l'autre de $\frac{1}{32}$ de pouce. Mais la distance entre le milieu de la goutte et la ligne de jonction était de 10 pouces. Donc la fraction qui représente le sinus de l'angle que fait l'axe avec l'horizon, est $\frac{16}{100.10}$ ou $\frac{16}{1000}$, ce qui donne 55′ pour l'angle dont il s'agit, conformément à l'expérience d'Hauksbée.

Des Effets de la Capillarité sur les parois des corps qui renferment le Liquide.

Nous avons supposé jusqu'ici que les tubes ou les lames dont l'action déterminait le liquide à s'élever au-dessus du niveau, ou à s'abaisser au-dessous, avaient leurs parois fixes et immobiles, ensorte que la résistance de ces parois détruisait la tendance qu'elles auraient pu avoir à prendre du mouvement. Nous allons maintenant considérer ces mêmes parois comme étant libres d'obéir aux forces qui les poussent dans un sens ou dans l'autre, et les développemens qui naîtront de ce nouvel état de choses achèveront de prouver la justesse de la Théorie de M. de Laplace.

339. Concevons que *ed*, *pc* (*fig.* 29), représentent les sections de deux lames plongées dans un liquide, parallèlement l'une à l'autre, à la distance où l'action capillaire a lieu d'une manière sensible, et supposons que le liquide soit du mercure, auquel cas il s'abaissera au-dessous du niveau MN, en formant une convexité *qol*. Supposons de plus, que les lames soient susceptibles de céder à une légère pression. Nous avons déjà vu (334) qu'il y a équilibre entre les deux colonnes verticales infiniment déliées de liquide *or*, *hs*, situées, la première à l'endroit de l'axe du tube, la seconde dans le liquide environnant, et agissant l'une sur l'autre par l'intermède du canal *sr*. Prenons maintenant à volonté sur les deux surfaces de la partie plongée d'une des lames, telle que *ed*, deux points opposés *k*, *u*, et imaginons à la hauteur de ces points deux autres canaux infiniment déliés *iu*, *kx*, qui soient parallèles au canal *sr*. Il est facile de voir que les actions du liquide transmises à ces mêmes points par les deux canaux, se détruisent mutuellement. Car les portions de colonne *ox*, *hi*, ayant leurs bases inférieures également distantes de celles des colonnes entières *or*, *hs* qui se font équilibre, agissent avec des forces égales sur les canaux *xk*, *iu*, pour pousser l'un vers le point *k* et l'autre vers le point *u*. Mais il y a aussi égalité entre les forces avec lesquelles

les canaux réagissent contre les colonnes ox, hi, parceque ces forces sont celles de deux masses planes dont les pressions dépendent uniquement des molécules voisines des points k, u (324). Donc ces points n'ont aucune tendance à se mouvoir, en vertu des actions que le liquide exerce sur eux, et il est évident que les pressions qu'éprouve le liquide de la part de l'air soit extérieur, soit intérieur, se détruisent aussi mutuellement. Le même raisonnement s'applique à tous les autres points situés depuis d jusqu'en q. Mais au-dessus de ce dernier point, la lame ed est pressée latéralement au dehors par le liquide, sans qu'il y ait rien à l'intérieur qui balance cette pression, et comme la même chose a lieu en sens contraire par rapport à la lame pc, les deux lames s'approcheront l'une de l'autre.

340. Supposons maintenant que le liquide s'élève au-dessus du niveau, entre les lames ed, pc (*fig.* 28), en formant à sa partie supérieure la concavité fog. Il semblerait d'abord que ces lames dussent s'écarter l'une de l'autre. Car jusqu'à présent nous avons vu les actions des masses convexes et concaves produire des effets opposés; cependant l'expérience prouve que les deux lames se rapprochent l'une de l'autre dans le cas présent, comme dans celui qui précède. Mais ce paradoxe, dont l'explication avait été tentée inutilement par quelques physiciens, ne laisse plus lieu aujourd'hui à d'autre surprise que celle de voir avec quelle facilité il s'éclaircit, d'après la théorie de M. de Laplace.

341. Reprenant ici l'hypothèse de deux canaux horizontaux iu, kx, dont les positions soient soumises aux mêmes conditions que ceux de la figure 29, on concevra aisément, à l'aide d'un raisonnement semblable à celui que nous avons fait pour le cas précédent, que les points u, k (*fig.* 28), et tous les autres situés de deux côtés opposés, au-dessous du niveau, étant en équilibre, la lame ed, considérée sous ce rapport, n'a aucune tendance à se mouvoir dans un sens ou dans l'autre.

Reste à examiner ce qui se passe aux endroits où la lame n'est pas baignée par le liquide extérieur. Soit tz un nouveau canal horizontal pris à une hauteur quelconque au-dessus du

niveau. La colonne partielle *oz* agit sur le point *t*, par l'intermède du canal, avec la force du plan *ab* moins celle du ménisque *fogba*, et de plus avec celle que la pesanteur exerce sur elle ; et si les deux dernières forces, qui s'exercent en sens opposé, étaient égales, il ne resterait que l'action du plan *ab*, avec laquelle l'action du canal *tz*, qui est aussi celle d'une masse plane, serait en équilibre, et alors le point *t* n'aurait aucune tendance à prendre du mouvement. Mais la force du ménisque qui est égale au poids de toute la colonne *oy* qu'elle tient suspendue au-dessus du niveau, agit pour soulever la colonne partielle *oz* avec un excès mesuré par la différence *zy* entre *oz* et *oy*. Cet excès détruit donc une partie de la force du plan *ab*, d'où il suit que celle du canal *tz* l'emporte sur la pression de la colonne *oz*, et ainsi le point *t* est sollicité à se mouvoir vers la lame *pc*, et il en faut dire autant de tous les autres points situés au-dessus du liquide environnant. Or la pression de l'air extérieur et celle de l'air intérieur sur les deux surfaces de la lame étant égales et contraires, leurs actions ne peuvent troubler l'effet de la tendance dont nous venons de parler, et comme tous les points correspondans du liquide en contact avec la lame *pc* ont une pareille tendance en sens opposé, les deux lames que nous supposons mobiles s'approcheront l'une de l'autre, par une suite de leur cohérence avec le liquide.

On voit aisément, d'après ce que nous venons de dire des actions exercées par l'air, que le phénomène doit avoir lieu également dans le vide.

342. L'analyse démontre que si le liquide s'élève entre les deux lames, la force avec laquelle chacune d'elles tend vers l'autre, équivaut à la pression d'une colonne du même liquide, dont la hauteur serait la demi-somme des lignes $e\mu$, $f\mu$, qui mesurent les quantités dont les points extrêmes des concavités extérieures et intérieures du liquide s'élèvent au-dessus du niveau, et dont la base serait la partie de la surface de la même lame comprise entre deux lignes horizontales menées par les points *f*, *e*. Si au contraire le liquide s'abaisse entre les lames, la pression qui poussera chacune d'elles vers

l'autre est égale à celle d'une colonne du même liquide, dont la hauteur serait la demi-somme des lignes μs, $q\mu$ (*fig.* 29), qui mesurent les quantités dont les points extrêmes des convexités extérieures et intérieures du liquide s'abaissent au-dessous du niveau, et dont la base serait la partie de la surface de la lame comprise entre deux lignes horizontales menées par les points s, q.

Application aux Attractions et aux Répulsions apparentes des petits corps qui flottent sur un Liquide.

On doit rapporter à des actions du même genre que celles qui produisent les phénomènes des tubes capillaires, les mouvemens à l'aide desquels deux petits corps qui flottent sur un liquide, à une petite distance l'un de l'autre, s'approchent jusqu'au contact, ou se fuient, suivant les circonstances. Ces corps étant de ceux qui sont à l'état de solidité, ne peuvent exercer l'un sur l'autre aucune attraction ou répulsion sensible; et ce qui se passe dans les phénomènes dont il s'agit ici, est uniquement dû à l'action des molécules du liquide en contact avec ces mêmes corps.

343. Si aucun des deux corps n'est susceptible d'être mouillé par le liquide; si ce sont, par exemple, deux globules de cire qui flottent sur l'eau, et que la distance qui les sépare soit assez petite, on les verra s'approcher et se réunir. Pour en concevoir la raison, on peut observer que, dans ce cas, la surface *bd* (*fig.* 33) du liquide commence à s'infléchir en partant d'un point *d* ou *g* situé à une certaine distance de celui où se fait l'immersion du globule *a*; ensorte qu'elle forme en cet endroit une courbe, dont la convexité est tournée vers le haut. La même chose a lieu par rapport au globule *c*, qui flotte sur le même liquide. Tant que les deux globules sont à une distance respective assez grande, pour qu'une partie de la surface intermédiaire du liquide, telle que *db*, conserve son niveau, les pressions latérales que ce liquide exerce de part et

d'autre sur chaque globule étant égales, l'équilibre subsiste ; mais si l'on suppose que la distance diminue continuellement entre les deux globules, il y a un terme où tout le liquide compris dans l'espace qui les sépare, subit un abaissement analogue à celui qui a lieu par rapport au mercure, lorsqu'on y plonge deux lames *pc*, *ed* (*fig.* 29), situées parallélement entre elles à une petite distance. Alors les pressions latérales qui agissent du côté opposé à celui par lequel les globules se regardent, devenant prépondérantes, poussent ces globules l'un vers l'autre.

344. Si l'un des deux globules, tel que *a* (*fig.* 34), est susceptible d'être mouillé, et que l'autre globule *b* ne le soit pas ; par exemple, si le premier est de liége, et l'autre de cire, le liquide s'élevera autour du globule *a*, tandis qu'au contraire il formera un enfoncement autour du globule *b* ; ensorte que si on les fait avancer l'un vers l'autre jusqu'à une petite distance, la pression qui agit latéralement sur *b*, du côté de *d*, étant plus forte que celle qui a lieu dans la partie opposée *g*, à cause de l'élévation du liquide entre *d* et le globule *a*, l'autre globule *b* sera forcé de reculer, comme s'il était repoussé par le globule *a*.

On peut varier cette expérience, en plaçant sur l'eau un globule de cire, puis en plongeant dans cette eau, à quelques millimètres du globule, l'extrémité d'un corps susceptible d'être mouillé, tel qu'un petit bâton de bois, de même diamètre que le globule. Celui-ci s'éloignera du bâton ; et si l'on réitère les immersions toujours à la même distance, on pourra diriger à volonté le mouvement du globule, par une action qui paraîtra s'exercer à distance sur ce petit corps.

345. Enfin, si les globules sont tous les deux susceptibles d'être mouillés, ils se porteront l'un vers l'autre, et finiront par s'unir. Cet effet qu'il paraissait très-difficile de concilier avec celui que présentent deux globules qui, au contraire, ne sont pas susceptibles d'être mouillés, vient comme de lui-même se placer à côté de ce dernier, dans la Théorie de M. de Laplace. L'intervalle entre les deux globules peut être alors assimilé à celui qui sépare deux lames de verre parallèles *pc*, *ed* (*fig.* 28),

entre lesquelles l'eau s'élève au-dessus du niveau. Or, nous avons vu (341) que ces lames sont tirées l'une vers l'autre par les forces qu'exerce le liquide intermédiaire. Le même effet a donc lieu par rapport aux deux globules, lorsqu'ils sont assez rapprochés pour que l'action capillaire s'étende dans tout le petit espace situé entre les portions de surface par lesquelles ils se regardent.

On peut substituer aux globules deux aiguilles déliées que l'on posera doucement sur l'eau, où elles flotteront, par l'effet de la petite couche d'air qui est adhérente à leur surface, comme cela a lieu en général pour tous les corps. Le volume de cet air étant comparable au volume de l'aiguille, fait croître ce dernier dans un rapport plus grand que celui de l'augmentation de poids; ensorte que le tout est spécifiquement plus léger qu'un pareil volume d'eau. Si l'on fait avancer une des aiguilles vers l'autre, dans une direction oblique, jusqu'à ce que les deux extrémités se touchent, elles s'inclineront l'une sur l'autre, de manière que l'angle qu'elles formaient au moment du contact, diminuera peu à peu, et elles finiront par adhérer entre elles dans toute leur longueur. Si lorsqu'elles se sont rencontrées, l'extrémité de l'une a touché un point situé, par exemple, au milieu de la longueur de l'autre, le point de contact restera fixe jusqu'à ce que les deux aiguilles adhèrent ensemble, en se dépassant mutuellement de la moitié de leur longueur, et à l'instant elles glisseront l'une sur l'autre pour se mettre de niveau par leurs extrémités.

Tous ces divers phénomènes, que plusieurs physiciens ont attribués aux actions réciproques des corps qui les présentent, dépendent donc uniquement de l'attraction qu'exercent les molécules de l'eau, soit entre elles, soit par rapport aux corps eux-mêmes; et ce liquide est ici le véritable moteur déguisé sous l'apparence d'un simple véhicule.

Des Circonstances qui déterminent la concavité ou la convexité de la surface du Liquide.

346. La plupart des physiciens ont cru pouvoir expliquer la différence que présentent, en général, les liquides qui s'élèvent au-dessus du niveau, avec ceux qui s'abaissent au-dessous, en supposant que, dans le premier cas, l'action du tube sur le liquide était plus grande que celle du liquide sur lui-même, et que dans le second cas elle était plus faible. C'était un de ces principes qui paraissent si évidens au premier coup d'œil, qu'il faut être conduit, sans s'y attendre, par des méthodes rigoureuses, à en découvrir la fausseté. C'est ce qui arriva à Clairaut, lorsqu'il déduisit de ses formules cette conséquence singulière, que quand même l'attraction du tube capillaire sur le liquide aurait une intensité moindre que celle du liquide pour lui-même, pourvu qu'elle surpassât la moitié de cette dernière, le liquide ne laisserait pas de monter (1).

Ce résultat, qui est aussi un corollaire de la Théorie de M. de Laplace, peut être démontré d'une manière très-simple. Soit *pedc* (*fig.* 35, pl. 3) la coupe verticale d'un tube plongé dans l'eau MN par sa partie inférieure *hgcd*, et dont l'action sur ce liquide soit égale à la moitié de l'action réciproque des molécules de l'eau. Divisons par la pensée ce tube, à l'endroit du niveau MN, en deux tubes partiels *epgh*, *ghdc*, et imaginons qu'un nouveau tube que nous désignerons par A, étant de la même nature et de la même forme que *ghdc*, le pénètre intimement. Si nous faisons abstraction, pour un instant, du tube *epgh*, il est évident que la surface de l'eau intérieure sera de niveau, en vertu des actions qu'exerce sur elle l'ensemble des deux tubes A et *ghdc*, puisque cet ensemble équivaut à un tube d'eau de mêmes dimensions. Maintenant, pour remettre les choses dans leur premier état, il faut d'une part supprimer l'action du tube A, et de l'autre faire intervenir l'action du tube

(1) Théorie de la Figure de la terre, L. X, p. 121.

tube *epgh*. Voyons donc en quoi consistent ces actions dans l'hypothèse où les deux tubes existeraient seuls. Soit *o* un point pris à la surface de l'eau, et *s*, *r* deux points pris sur les surfaces des deux tubes et également éloignés du point *o*, de manière que leurs distances à ce point soient moindres que le rayon de la sphère d'activité sensible du tube. Représentons par *os* la force oblique que le point *s* exerce sur le point *o*. Cette force se décompose en deux, l'une *oh* qui est horizontale, l'autre *ou* qui est verticale. La force oblique du point *r*, représentée par *or*, se décompose de même en une force verticale *oz* égale à *ou*, et une force horizontale *oh*, la même que la première. Or la suppression du tube A fait disparaître la force *oh*, tandis que l'intervention du tube *epgh* la rétablit, d'où l'on voit que tout demeure comme auparavant dans le sens horizontal, ensorte qu'il n'y a de changement que dans les forces qui agissent verticalement (1). Ainsi le liquide n'étant encore sollicité que par des actions perpendiculaires à sa surface, ce qui est, d'après les lois de l'hydrostatique, la condition nécessaire pour que l'équilibre subsiste, le niveau ne sera point altéré.

Au-delà de cette limite, qui répond au terme où l'attraction du tube sur l'eau est la moitié de celle que les molécules de l'eau exercent les unes sur les autres, l'élévation du liquide sera toujours plus sensible, à mesure que l'action du tube différera moins de celle de l'eau, et en deçà de la même limite, le liquide s'abaissera de plus en plus, à mesure que l'action du tube approchera davantage d'être égale à zéro.

347. L'élévation du liquide au-dessus du niveau, ou son abaissement au-dessous, n'ont lieu qu'en conséquence de ce que, dans le premier cas, le rapport qui existe entre l'attraction du tube sur le liquide, et l'attraction du liquide sur lui-même, détermine la surface de celui-ci à prendre une figure concave, tandis que dans le second cas le rapport entre les deux attractions détermine la même surface à former une

(1) Si l'on désigne par *p* chacune des lignes *ou*, *oz*, le changement qui a lieu dans les forces verticales sera représenté par $-2p$.

convexité. Tout dépend, ainsi que nous l'avons déjà vu, de l'action négative du menisque ajouté à la masse plane (327), ou de l'action positive due à l'absence du menisque retranché de la masse plane (326) ; d'où il suit que si, par un moyen quelconque, on parvient à faire varier à volonté la figure du liquide, les effets de sa pression subiront des changemens analogues.

348. Ceci nous conduit à expliquer le résultat d'une expérience intéressante imaginée par le père Abat, qui a beaucoup travaillé sur les phénomènes des tubes capillaires, et à qui l'on serait tenté de savoir gré d'avoir voulu en bannir l'attraction, parceque les faits qu'il a accumulés contre elle ont augmenté le nombre de ceux qui déposent le plus en sa faveur.

Ce physicien ayant pris un tube capillaire AB (*fig.* 36), recourbé en siphon, dont une des branches était plus courte que l'autre, le plongea dans l'eau, la courbure en bas, de manière que l'extrémité de la branche A la plus courte, se trouvait au-dessous du niveau. Le liquide s'éleva aussitôt à l'ordinaire dans la branche B. Le père Abat retira ensuite le siphon, et passa le bout du doigt sur l'extrémité de la branche A, pour enlever là goutte d'eau qui s'y était formée, jusqu'à ce que la surface du liquide fût devenue plane en cet endroit. Il observa alors que l'eau s'élevait dans la branche B au-dessus du niveau *cdh*, à une hauteur telle que *or*, la même que quand le siphon était plongé. Enfin il introduisit avec le bout du doigt quelques gouttes d'eau dans la branche B, jusqu'à ce que la surface de l'eau contenue dans la branche A, en débordant au-dessus de *cd*, y eût formé une petite convexité *csd*, et il remarqua que l'eau parvenue en *xz* dans la branche B, était à une distance *tx* d'une horizontale menée par le sommet *s* de la convexité *csd*, plus grande que la distance *ho* entre le premier niveau *cdh*, et la hauteur à laquelle l'eau s'était arrêtée dans la branche B, quand sa surface était plane en *cd* (1).

(1) Amusemens Philosophiques sur diverses parties des sciences. Amsterdam, 1763, p. 537, expér. XII.

349. Cette expérience que nous avons répétée plusieurs fois, fait ressortir d'une manière frappante la différence entre les actions du liquide, suivant la diversité des figures que prend sa surface supérieure. Quand la colonne renfermée dans la branche A est plane à son sommet, l'action qu'elle exerce sur l'autre colonne contenue dans la branche B, et dont le sommet est concave, est la même que celle d'une masse de liquide, dans laquelle on plonge un tube capillaire. Détermine-t-on la colonne de la branche A à s'arrondir vers son sommet ; ce petit changement de figure lui donne plus de force pour agir de haut en bas, et pousser en sens contraire le liquide renfermé dans la branche B, que dans le cas même où elle aurait une épaisseur uniforme depuis sa base jusqu'au point *s*, et où parconséquent elle serait composée d'une plus grande quantité de liquide. Pour l'amener à cette dernière figure, il faudrait ajouter à sa partie supérieure un menisque tel que *ablq* (*fig.* 27), dont l'action affaiblirait la sienne, en y introduisant une quantité négative.

De l'Influence du Frottement sur la Capillarité.

Le frottement que les parois du tube font éprouver à une colonne de liquide, tandis que celle-ci s'élève ou s'abaisse, peut aussi occasionner dans la courbure terminale des variations qui modifient l'effet capillaire. C'est surtout à l'égard du mercure que cette modification est sensible.

350. Soit AB (*fig.* 37) un tube de verre recourbé dans lequel on ait introduit du mercure ; si on secoue un peu le tube, le métal liquide se mettra de niveau avec lui-même dans les deux branches, où il se terminera par deux convexités semblables *cd*, *ef*. Supposons maintenant que la pression de l'air augmente peu à peu sur la colonne renfermée dans la branche A ; cette colonne s'abaissera, et en même temps celle qui occupe la branche B s'élevera d'autant. Or, d'une part, le frottement des parois du tube contre cette dernière colonne ralentit le mouvement ascensionnel de la couche en contact avec le tube,

d'où il résulte que les parties intérieures de la colonne qui n'éprouvent pas la même gêne, s'élèvent avec un petit excès de vîtesse. Par une suite nécessaire les premiers plans de la surface supérieure du liquide, ou ceux qui sont contigus au verre font un plus petit angle avec les parois du tube, ce qui détermine cette surface à prendre une forme plus bombée telle que *hk*. D'une autre part, tandis que le frottement qui s'exerce sur la colonne renfermée dans la branche A oppose une résistance sensible à la descente de la couche en contact avec le tube, les parties intérieures, dont le mouvement est plus libre, descendent un peu plus vîte, et ainsi les premiers plans de la surface supérieure de la colonne faisant un angle moins aigu avec les parois du tube, cette surface prend une forme plus surbaissée, telle que *lo*.

Il suit de là que l'action du mercure renfermé dans la branche B, pour pousser vers le bas une colonne infiniment déliée, située à l'endroit de l'axe, est plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, que celle du mercure renfermé dans la branche A, sur une colonne prise de même à l'endroit de l'axe, ou, en d'autres termes, l'effet de la capillarité est augmenté dans la branche B et diminué dans la branche A.

351. On peut observer ces variations de l'action capillaire, à l'aide d'une expérience remarquable, dont l'idée est encore due au père Abat (1). Après avoir introduit du mercure dans le siphon renversé AB, de manière que ce métal soit à la même hauteur dans les deux branches, on incline le siphon, en faisant descendre, par exemple, l'extrémité de la branche B vers l'horizon, jusqu'à ce que le mercure soit arrivé à cette même extrémité, puis on relève très-doucement le siphon, et on lui rend sa première position. On remarque alors que le mercure est plus élevé dans la branche B que dans la branche A. Pour saisir la raison de cette différence, il suffit de considérer que, pendant le mouvement qui ramène le siphon à sa position primitive, le mercure que renferme la branche B est dans un cas

(1) Amusemens Philosophiques, p. 515.

semblable à celui de la colonne descendante de l'expérience précédente, tandis que le mercure de la branche A peut être assimilé à celui de la colonne ascendante. Ainsi, au moment où le siphon a été remis dans sa première position, la surface de la colonne de mercure contenue dans la branche B ayant une plus petite courbure que celle de la colonne qui occupe la branche A, il en résulte, dans l'action que la première exerce du haut vers le bas, une diminution qui est compensée par une plus grande élévation de cette colonne.

352. Si l'on observe avec attention les mouvemens de la colonne de mercure dans le baromètre, on reconnaît qu'elle a une tendance à monter ou à descendre, en ce que sa surface supérieure devient ou plus convexe ou plus surbaissée. On fait disparaître cet effet du frottement, en secouant légérement le tube de l'instrument. Dans le premier cas, la surface du mercure perd de sa convexité, et la colonne s'élève un peu ; dans le second cas, la convexité augmente, et la colonne descend d'une petite quantité.

353. On voit, par ce qui a été dit jusqu'ici, combien il est important, lorsqu'on fait des observations barométriques, de mesurer la hauteur du mercure, depuis le sommet de la convexité terminale ; car l'élévation de ce sommet est encore moindre que celle qui aurait lieu, dans le cas où la surface étant plane, la colonne serait exempte des effets de la capillarité.

Tel est l'exposé d'une théorie, à l'aide de laquelle les résultats des nombreuses expériences faites sur les tubes capillaires, se déduisent du principe de l'attraction, non plus par des considérations vagues et incertaines, mais par une suite de raisonnemens précis et rigoureux, qui ne laissent aucun lieu de douter qu'elle ne soit la véritable théorie. Lorsque d'un côté on la compare à tout ce qui a paru jusqu'ici dans ce genre, et que de l'autre on la considère en elle-même, on y voit, à-la-fois, un des pas les plus importans que la géométrie ait fait faire à la Physique, et une des plus belles applications de ses sublimes méthodes.

Analogie de divers Effets connus avec ceux des Tubes Capillaires.

354. L'action capillaire se manifeste à l'égard d'une multitude de corps, qui n'ont besoin que d'être en contact avec l'eau, pour que ce liquide s'insinue dans les petits intervalles situés entre leurs molécules. Il n'y a guère que les métaux et les substances dont le tissu est vitreux, qui se refusent à cette action, et l'on est étonné de voir un petit phénomène, dont la cause est resserrée dans un espace imperceptible, s'agrandir, en quelque sorte, à l'infini, par sa généralité. Les éponges sont remarquables entre les corps qui peuvent être cités comme exemples, par l'augmentation de poids et la dilatation considérables que l'imbibition leur fait subir. C'est à l'aide de l'action capillaire que l'eau s'introduit dans l'intérieur des végétaux, et comme cet effet dépend de leur tissu, il subsiste encore dans les parties que l'on a détachées de la plante, ainsi qu'on peut l'observer sur un tronçon de branche d'arbre, qui, plongé dans l'eau par une de ses extrémités, s'imbibe de ce liquide. Des effets analogues se répètent continuellement sous nos yeux : tels sont ceux que présentent un morceau de sucre que l'on plonge par une pointe dans le café, et qui, en un instant, se trouve humecté jusqu'au haut, ce qui a lieu aussi promptement avec l'alkohol, quoique le sucre n'y soit presque pas soluble ; un monceau de sable ou de cendre dont le pied est dans l'eau, qui le pénètre de toutes parts, et arrive peu à peu jusqu'à la cime ; la mèche de coton qui sert de véhicule à l'huile, pour aller alimenter la flamme d'une lampe, et ainsi d'une multitude de corps que Muschenbroeck appellait *les aimans des fluides*, dénomination très-impropre, si ce physicien l'eût prise à la rigueur. Toutes les substances hygrométriques viennent ici se ranger sur une même ligne, qui commence aux tubes capillaires.

355. Les dendrites ou herborisations qui ornent la surface de certaines pierres calcaires ou marneuses, sont dues à une

cause semblable. Parmi ces pierres, les unes sont pleines de fissures, dans lesquelles un liquide chargé de molécules de manganèse ou autres, s'est introduit et a laissé de petits dépôts métalliques; et comme les fissures forment des espèces de ramifications qui, même assez souvent, communiquent à une fissure principale, l'artiste a soin de couper la pierre dans le sens convenable, pour que toutes ces ramifications se développent sur un même plan, ensorte qu'elles s'offrent sous l'aspect d'un petit arbre, dont le tronc est à l'endroit de la fissure principale. Il y a d'autres pierres composées de feuillets entre lesquels un liquide semblable a pénétré, et s'est étendu par veines, en formant des dendrites composées de particules métalliques rangées à la file les unes des autres. Dans ce cas, on se contente de détacher les feuillets, et l'on a, sur chacune des faces qui se joignaient, un petit tableau qui est tout entier l'ouvrage de la nature.

2. De l'Eau à l'état de Glace.

La congélation de l'eau, que nous avons déjà prise pour exemple, en parlant du passage de la liquidité à la solidité (198), est précédée et accompagnée de circonstances particulières, dont le développement trouve ici naturellement sa place. Nous y joindrons quelques détails relatifs au même phénomène offert par d'autres substances, dans le cas où il en résultera des rapprochemens propres à fixer l'attention.

Formation de la Glace.

356. Lorsqu'une masse d'eau exposée dans un vase, à une température convenable, passe à l'état de solide, et que la congélation n'est pas trop hâtée, on voit d'abord naître à la surface, de petites aiguilles triangulaires, dont une des faces est de niveau avec l'eau. A mesure que ces aiguilles se multiplient, elles s'insèrent les unes sur les autres, et les interstices

qu'elles laissent se trouvant occupés successivement par de nouvelles aiguilles, tout cet assemblage finit par ne plus former qu'un même corps.

Dans le cas d'une congélation très-lente, les aiguilles ont des espèces de dentelures, et imitent, par leur assortiment, les cristallisations ébauchées que le refroidissement qui succède à la fusion fait naître sur la surface de la plupart des métaux, et que l'on a comparées à des rameaux de fougère. On observe aussi de ces congélations ramifiées à la surface des vitres pendant les temps de gelée.

Une circonstance remarquable de ces mêmes assortimens, est la tendance des aiguilles à se réunir sous l'angle de 120 degrés ou de 60^{d}. Cette disposition se montre, avec un caractère particulier de symétrie, dans la neige, qui tombe assez souvent en forme de petites étoiles à six rayons, exactement situés comme ceux d'un hexagone régnlier.

357. Descartes, pour expliquer ce phénomène, pensait que les molécules de l'eau étant sphériques, six globules de cette eau s'arrangeaient d'abord autour d'un septième, et servaient ensuite comme de points d'attache à des files de globules semblables, dirigées suivant des lignes qui passaient par les centres des premiers et par celui du globule du milieu. Mais cette explication ressemblait à beaucoup d'autres, qui amènent le fait à elles, au lieu d'être amenées par le fait lui-même.

Mairan, dans sa Dissertation sur la Glace, où l'on trouve une suite d'observations très-soignées, réunie à ce que la théorie pouvait alors dire de mieux, se borne à regarder la disposition angulaire dont il s'agit, comme l'effet d'une certaine tendance qui dépend de la figure des molécules, qu'il présume être de petites aiguilles; et il cite, entre autres exemples qui viennent à l'appui de son opinion, celui de la pyrite cubique, dont les faces sont striées alternativement dans trois directions perpendiculaires l'une à l'autre (1). Cette pyrite

---

(1) P. 156 et suiv.

n'est, selon lui, qu'un assemblage d'aiguilles déterminées par elles-mêmes à affecter constamment ces directions croisées; mais nous avons prouvé depuis (1), que la pyrite striée est, comme les autres, un assemblage de molécules cubiques, et doit être regardée comme une cristallisation ébauchée du dodécaèdre à plans pentagones (123).

358. On pourrait plutôt présumer que les molécnles de la glace sont des tétraèdres réguliers, composant des octaèdres par un assortiment semblable à celui qui a lieu pour la chaux fluatée, ou le spath fluor (2), puisque les congélations qui offrent des indices de formes régulières ont un rapport marqué avec des dendrites métalliques, que nous savons être des assemblages d'octaèdres implantés, dont la structure ressemble à celle du spath dont il s'agit : ce sont les mêmes traits de part et d'autre, les mêmes dentelures, les mêmes apparences de triangles équilatéraux aux extrémités.

Or telle est la structure de l'octaèdre régulier, que si on le coupe parallélement à deux de ses faces opposées, et à égale distance entre l'une et l'autre, on mettra à découvert un hexagone régulier, et que de plus, six des tétraèdres qui le composent auront chacun une de leurs faces située sur le plan de cet hexagone. Si donc on suppose des files de petits cristaux implantés, qui, en partant des différens côtés de l'hexagone, aient leurs faces analogues de niveau avec lui, ce qui n'est autre chose qu'une continuation d'un effet qui est dans le sens de la structure, ces files formeront nécessairement entre elles des angles de 60$^{d.}$ ou de 120$^{d.}$, suivant qu'elles naîtront des côtés adjacens à l'hexagone, ou des côtés pris de deux en deux. On peut même supposer que le cristal situé à l'origine de ces différentes files, soit une portion d'octaèdre terminée par un hexagone. Il n'est pas rare de rencontrer de ces portions d'octaèdre, même parmi les cristaux isolés. Au reste ce n'est ici qu'une

(1) Traité de Minér., t. IV, p. 75.

(2) *Ibid.*, t. II, p. 249.

hypothèse, à laquelle nous n'attachons que le degré de valeur qu'elle nous paraît avoir, comme étant puisée dans l'analogie, et indiquée par l'observation.

359. L'eau qui tient un sel en dissolution le laisse précipiter, lorsqu'elle se convertit en glace. Dans quelques contrées du Nord on profite du froid de l'atmosphère, comme d'un moyen préparatoire, pour extraire le sel des eaux de la mer. On fait entrer une couche d'eau peu épaisse, dans des fosses pratiquées à cet effet : une partie de cette eau, en se congelant, abandonne les molécules salines, qui se concentrent dans la portion encore liquide, ensorte que celle-ci n'a plus besoin que d'être exposée à une chaleur modérée, pour que son évaporation permette au sel dont elle est chargée de se cristalliser.

Circonstances où l'Eau reste liquide au-dessous du terme de la Congélation.

360. Nous avons parlé plusieurs fois du degré de la congélation, et nous avons désigné par là le terme où, soit que la glace commence à se fondre, soit que l'eau liquide commence à se glacer, la liqueur du thermomètre répond à zéro; c'est effectivement ce qui a toujours lieu. Mais il ne s'ensuit pas que la température de l'eau ne puisse descendre au-dessous de zéro, sans que cette eau ne se congèle. Fahrenheit observa le premier, et ce ne fut pas sans surprise, que l'eau contenue dans un matras de verre, dont le tube était fermé par le haut, conservait encore sa fluidité après avoir été exposée, pendant un jour et une nuit, à une température de beaucoup inférieure au terme de la congélation. Ayant cassé la pointe du tube, il vit à l'instant une multitude de petits glaçons se former au milieu de l'eau, et il attribua d'abord cet effet au contact de l'air; mais une autre fois qu'il portait un semblable matras, où l'eau était encore liquide, il fut tiré d'erreur par un accident assez singulier, en faisant un faux pas, qui produisit dans l'eau une agitation suivie d'une congélation subite.

Cet effet est analogue à ce qui se passe dans la cristallisation des sels. Un mouvement léger imprimé au vase dans lequel est contenue une dissolution saline, où l'on ne voyait encore rien paraître, quoiqu'elle eût déjà passé le point de saturation, suffit pour déterminer tout à coup la naissance d'une multitude de petits cristaux.

On peut concevoir que dans ce cas, l'agitation du liquide, en même temps qu'elle aide les molécules salines à se dégager d'entre les molécules aqueuses qui opposent encore un petit obstacle à leur réunion, occasionne dans les premières une multitude de mouvemens divers, d'où résultent, pour un certain nombre d'entre elles, les positions qui donnent le plus d'avantage à l'affinité.

On a remarqué aussi qu'un petit cristal de sel placé dans une dissolution du même sel, favorise la cristallisation, parceque les molécules qui composent ce cristal ayant déjà les positions respectives qu'exige l'affinité pour être satisfaite, sollicitent ensuite leurs voisines aux mouvemens les plus favorables à l'action de la même force, et cette disposition se communique de proche en proche, à toutes celles qui faisaient effort pour cristalliser. La présence d'un petit glaçon, que l'on place de même dans une eau qui est déjà au-dessous du degré de la congélation, devient comme le signe de ralliement de toutes les molécules qui ont une tendance prochaine à se réunir.

361. Les deux effets dont nous venons de parler, savoir, l'abaissement de température que l'eau peut subir au-dessous du terme de la congélation, en restant toujours liquide, et le passage subit à l'état solide, en vertu de certaines circonstances, ont été le sujet d'une suite intéressante d'observations faites par M. Blagden, de la Société Royale de Londres (1). Ce savant a remarqué qu'en général les substances qui altèrent la pureté et la transparence de l'eau, déterminent un moindre abaissement dans la température que ce liquide peut atteindre,

(1) Philosophical Transact., vol. LXXVIII, an. 1788, p. 125.

sans se congeler, que s'il eût été pur et limpide. Ainsi l'eau distillée était celle qui donnait, à cet égard, comme le *maximum* d'abaissement de température ; et de plus il y avait cette différence entre l'eau distillée que l'on avait fait bouillir et celle qui n'avait point subi l'ébullition, que la première pouvait être refroidie plus que l'autre sans se congeler. Celle qui avait subi l'ébullition parvenait, avant d'entrer en congélation, à 21$^{d.}$ de Fahrenheit, près de — 5$^{d.}$ de Réaumur, tandis que celle qui n'avait pas bouilli n'atteignait qu'une température de 24$^{d.}$ de Fahrenheit, environ — 3$^{d.}$ $\frac{5}{9}$ de Réaumur, avant de se congeler. M. Blagden attribue cette différence à l'air que l'eau renferme naturellement, et qui se dégage pendant l'ébullition. L'eau qui n'avait point été distillée se congelait, après être parvenue à une température toujours moins basse, à proportion que cette eau était moins pure; et M. Blagden ayant soumis à l'expérience de l'eau de rivière très-chargée de particules limoneuses, ne put jamais l'amener à descendre au-dessous de 32$^{d.}$ de Fahrenheit, ou du zéro du thermomètre en 80 parties, avant de se congeler.

362. On entend dire assez communément que l'eau qui a bouilli se gèle plus facilement que celle qui n'a point été exposée au feu. M. Blagden apperçoit, dans les résultats de ses observations, ce qui a pu donner naissance à cette opinion : car si l'eau contient de la terre calcaire qui y soit tenue en dissolution par l'acide carbonique, ce qui a lieu très-fréquemment par rapport aux eaux de source, la terre calcaire, en se précipitant par l'effet de l'ébullition, troublera la transparence de l'eau, qui acquerra ainsi une disposition plus prochaine à entrer en congélation.

Ces expériences faites sur l'eau commune, ont été suivies de beaucoup d'autres où l'eau était modifiée par différentes substances salines, acides ou alkalines, susceptibles d'être dissoutes par ce liquide, ou combinées chimiquement avec lui. On savait déjà que l'union de ces substances avec l'eau avait la propriété de faire baisser plus ou moins son point de congélation. M. Blagden a observé de plus, qu'en vertu de cette

même union, l'eau pouvait aussi être refroidie au-dessous de son nouveau point de congélation, en restant toujours liquide, et il détermine l'abaissement de température qui a lieu dans chaque cas particulier.

363. Pour compléter le tableau de toutes les circonstances relatives à cet objet, nous remarquerons qu'il y a ici deux effets distincts qui dépendent du calorique : d'abord la température du liquide s'abaisse au-dessous de zéro, parceque les corps environnans, qui sont plus froids que l'eau, lui enlèvent le calorique, par leur affinité prépondérante pour ce fluide ; mais dès qu'une fois l'eau est déterminée à se congeler, en vertu d'une cause quelconque, il se fait un dégagement particulier de la quantité de calorique qui doit se développer, pour que la congélation ait lieu.

364. On sait que l'eau congelée absorbe, en se fondant, 60$^{d.}$ de chaleur; car si l'on mêle ensemble un kilogramme d'eau à 60$^{d.}$, et un kilogramme de glace à zéro, toute la chaleur de l'eau sera employée à fondre la glace : par un effet contraire, une masse d'eau qui se congèle développe 60$^{d.}$ de chaleur.

D'après cela on peut expliquer pourquoi l'eau, dont la température descend au-dessous de zéro, reste liquide; car si les circonstances sont telles, que le calorique qui se développerait par l'effet de la congélation dût mettre beaucoup de lenteur à se communiquer aux corps environnans, il en résultera une cause de retard par rapport à la congélation elle-même, parceque plus la portion de calorique qui, en la supposant développée, tendrait à rester dans la masse est considérable, et plus elle contrarie une des conditions nécessaires à la congélation; savoir, que la température ne s'élève pas au-dessus de zéro, puisqu'à ce terme la glace commence à se fondre.

Cet obstacle, que la transmission lente du calorique forme à la congélation, est tel, que si l'on suppose l'eau exactement renfermée dans un vase non-conducteur du calorique, elle ne pourra se congeler toute entière, dans cette hypothèse mathématique, qu'à une température au moins de 66$^{d.}\frac{2}{3}$ au-dessous de zéro, en supposant, avec M. Kirwan et plusieurs autres

physiciens, que les chaleurs spécifiques de la glace et de l'eau à l'état de liquide soient entre elles dans le rapport de 9 à 10; car la quantité de chaleur que développe l'eau pendant qu'elle se congèle, est, comme nous l'avons dit, égale à celle qui éleverait de $60^{d.}$ la température de ce liquide. Or, lorsque le développement de cette quantité de chaleur, que nous supposons rester toute entière dans l'eau, a déterminé le point de la congélation, la glace est dans le même cas que si sa température ayant été primitivement d'un nombre n de degrés au-dessous de zéro, elle s'était élevée jusqu'à zéro, par un accroissement de chaleur capable de faire monter de 60 degrés la température de l'eau. Donc, puisque les élévations de température de deux corps, par un même accroissement de chaleur, suivent le rapport inverse des chaleurs spécifiques (183), on aura cette proportion, $60^{d.} : n :: 9 : 10$, ce qui donne $n = 66^{d.} \frac{2}{3}$; c'est-à-dire, que l'élévation de température qui ferait naître la congélation dans l'hypothèse présente, serait de $66^{d.} \frac{2}{3}$, ou, en d'autres termes, il faudrait que la température de l'eau eût été originairement de ce nombre de degrés.

Si, dans la même hypothèse, la température était plus voisine de zéro, il pourrait encore y avoir congélation, mais seulement par rapport à une partie de l'eau; et l'on trouverait une infinité de cas possibles d'équilibre, en supposant que tout ce qui serait susceptible de congélation se congelât en effet; ensorte que l'on pourrait déterminer, à l'aide d'un calcul simple, la partie qui se congèlerait par chaque degré de température. Mais ces circonstances n'ont point lieu dans la nature, parceque les corps environnans prennent toujours leur part du calorique développé (1).

365. A l'égard de la congélation occasionnée par l'agitation de la liqueur, M. Blagden, en essayant des mouvemens de différentes espèces, est parvenu à distinguer ceux dont l'effet est le plus sûr pour commander, en quelque sorte, la réunion

---

(1) Voyez le Mémoire publié par Lavoisier et Laplace, parmi ceux de l'Académie des Sciences, 1780, p. 355 et suiv.

subite des molécules aqueuses. Il a observé qu'en général cet effet dépend d'une agitation particulière produite dans le liquide, plutôt que d'un mouvement rapide imprimé à toute la masse. Ainsi l'on réussira, en frappant légérement avec le fond du vase la table qui le soutient, ou en froissant les parois intérieures ou le fond du même vase avec un tube ou avec une plume. Mais de tous ces excitateurs de la congélation, celui qui manque le plus rarement son effet, est un petit morceau de cire avec lequel on frotte les parois du vase, dans quelques points inférieurs au niveau de l'eau, de manière à faire naître des espèces de vibrations sonores. On voit paraître à l'instant une croûte de glace à l'endroit du vase situé au-dessous de la cire.

Du Maximum de densité de l'Eau.

366. Pendant que l'eau passe à l'état de glace, son volume subit différentes variations, dont la marche mérite d'être suivie avec attention. Si on expose à la gelée un matras rempli d'eau jusque vers le milieu de sa hauteur, on verra cette eau descendre d'abord à mesure qu'elle se refroidira ; arrivée à un certain terme, elle y restera stationnaire pendant quelques instans, puis elle commencera à monter ; ensorte qu'au moment de sa congélation, elle se trouvera au-dessus de son premier niveau.

On voit par là que le volume de l'eau congelée est plus grand que n'était celui de la même eau à l'état de liquide. Il en résulte que la pesanteur spécifique de l'eau diminue par la congélation, ce qui est d'ailleurs prouvé par la propriété qu'ont les glaçons de nager sur l'eau qui les charie.

367. L'observation que nous venons de citer indiquait déjà que la dilatation de l'eau, à l'état de glace, n'était pas produite tout à coup, et comme par un saut brusque, au moment même de la congélation, mais qu'elle commençait plus tôt ; ensorte que le point de la plus grande contraction était à quelques degrés au-dessus du zéro du thermomètre.

On pouvait objecter cependant, qu'il y avait ici un effet

qui n'était qu'apparent, et qui provenait de ce que le verre se condensant en même temps que l'eau, à mesure qu'il se refroidissait, éprouvait, aux approches de la congélation, une contraction qui était plus grande à proportion que celle de l'eau. C'est ainsi que le fait a été expliqué par plusieurs physiciens, qui ont pensé que dans ce cas l'eau paraissait seulement acquérir une extension de volume, qui était due à l'excès de la contraction du verre sur celle de l'eau elle-même.

Mais les expériences faites par Lefèvre-Gineau, avec le cylindre qui lui a servi à déterminer la nouvelle unité de poids, ne laissent aucun lieu de douter que la dilatation de l'eau ne soit réelle. Ce physicien a pesé le cylindre dont il s'agit, à diverses reprises et avec un soin extrême, tandis que la température de l'eau dans laquelle cet instrument était plongé, variait en se rapprochant du terme de la glace fondante. Il a trouvé que le cylindre commençait à perdre toujours davantage de son poids, à mesure que l'eau se refroidissait, et cela jusque vers le quatrième degré au-dessus de zéro du thermomètre centigrade, qui répond à $3^{d.}\ \frac{1}{5}$ sur le thermomètre en 80 parties. Depuis ce terme, la perte de poids diminuait à mesure que la température approchait du point de la congélation. Dans le premier cas, la force de l'eau, pour soutenir le cylindre, allait en croissant; d'où il suit que ce liquide se contractait de plus en plus. La même force diminuait dans le second cas, ce qui indiquait une dilatation dans le liquide; et ainsi le *maximum* de densité répond à-peu-près au quatrième degré de chalenr sur le thermomètre centigrade.

368. La marche ordinaire du thermomètre est toujours un peu compliquée du double effet de la température, pour dilater ou resserrer en même temps le liquide et le verre qui le contient; ensorte que la variation du mercure paraît moindre qu'elle n'est réellement : mais cette différence n'influe pas sur les résultats des observations ordinaires, parcequ'on suppose qu'entre les deux termes fixes auxquels se rapporte la construction du thermomètre, les degrés de dilatation ou de contraction du mercure et du verre suivent sensiblement le même rapport.

369.

369. Selon les observations de M. Blagden, la dilatation que subit l'eau, par l'effet du refroidissement, depuis un certain terme, est susceptible de s'accroître encore, lorsque le liquide continue de se refroidir au-dessous du point de la congélation, sans passer à l'état de solidité. Il a paru même à ce savant que l'expansion avait une marche croissante, ensorte qu'elle était beaucoup plus grande vers les derniers degrés du refroidissement qu'elle ne l'avait été au commencement.

370. Une circonstance remarquable qui accompagne la formation de la glace, est le dégagement de l'air renfermé dans l'eau. Cet air s'échappe sous la forme de petites bulles qui se réunissent plusieurs ensemble, pour former des bulles plus considérables, dont le diamètre a quelquefois jusqu'à six lignes ou même un pouce de longueur.

Quelquefois les bulles ont la forme de petits tubes plus ou moins inclinés, par rapport à l'axe du vase où s'opère la congélation : c'est ce qu'on observe en particulier dans l'eau distillée qui passe à l'état de glace.

371. L'augmentation de volume que subit la glace peut être attribuée en partie au dégagement de l'air. Il en serait ici de l'eau et de l'air, comme de certaines substances qui paraissent se pénétrer en se mêlant, de manière que la somme de leurs volumes, pris séparément, était plus grande avant le mélange.

Mais l'eau que l'on a purgée d'air le plus exactement qu'il a été possible, avant de la faire congeler, ne laisse pas d'augmenter sensiblement de volume; ainsi cet effet dépend en grande partie du nouvel arrangement que prennent entre elles les molécules intégrantes du liquide, en se réunissant par leur force d'affinité; et l'on sait que ce même effet n'est point particulier à l'eau. Réaumur a observé que le fer acquiert un volume plus considérable par le refroidissement qui suit la fusion de ce métal et qui le congèle, tandis que le mercure, au contraire, dans le même cas, se contracte d'une quantité très-sensible.

372. Mairan attribue la dilatation de l'eau congelée à une

espèce de désordre produit par le monvement plus ou moins rapide qui agite les molécules tandis qu'elles se réunissent. Il en résulte, selon lui, qu'elles se croisent et s'embarrassent mutuellement sous une infinité de positions différentes, en laissant de petits vides entre elles, ce qui tend à leur faire occuper un plus grand espace que dans l'état de simple liquidité.

On conçoit effectivement que, toutes choses égales d'ailleurs, une cristallisation confuse, en donnant lieu à une multitude de petits interstices qui auraient été remplis, dans le cas d'une cristallisation plus lente et mieux graduée, puisse tendre à augmenter le volume de la masse solide produite par cette opération. Mais il paraît que l'acte seul de la cristallisation est par lui-même, au moins relativement à certaines substances, et en particulier à l'égard de l'eau, une cause immédiate d'augmentation de volume. Telle est, dans ces sortes de cas, la figure des molécules, jointe aux autres circonstances, que pour suivre les espèces d'alignemens qui déterminent lenrs nouvelles positions respectives, elles sont forcées de se développer dans un espace plus étendu que celui qu'exigeait l'état de liquidité.

Force expansive de la Glace.

373. Mairan ayant cherché la pesanteur spécifique de la glace, au moyen de la balance hydrostatique, a trouvé que le volume de l'eau augmentait d'environ $\frac{1}{14}$ par la congélation : mais cet effet varie suivant les circonstances; et comme il provient en général d'un arrangement particulier que prennent tout-à-coup les molécules de l'eau, en vertu de l'affinité, qui dans ce cas agit très-puissamment pour les fixer, on entrevoit comment il peut en résulter dans la glace une force expansive considérable. De là les efforts qu'elle exerce contre les parois des différens vases qui la contiennent. Si le vase est d'une forme plate et présente une large ouverture, la force de la glace s'exerce en partie sur la croûte supérieure, qu'elle soulève vers

le milieu, en lui faisant prendre une figure convexe; ensorte que les parois du vase n'ayant à soutenir que le résidu de la même force, lui opposent ordinairement une résistance suffisante : mais si le vase est étroit, il arrive rarement qu'il ne soit pas rompu par l'effort de la glace, qui alors agit presque entièrement dans le sens latéral; et il n'est personne qui n'ait eu plus d'une fois sous les yeux des vases d'un usage ordinaire mis hors de service par la congélation du liquide que l'on y avait laissé séjourner.

374. Plusieurs physiciens ont desiré d'éprouver jusqu'où pourrait aller cette force d'expansion. Un canon de fer, épais d'un doigt, rempli d'eau et fermé exactement, ayant été exposé par Buot à une forte gelée, se trouva cassé en deux endroits au bout de douze heures. Les philosophes de Florence firent crever, par la même cause, une sphère de cuivre très-épaisse, et Musschenbroek ayant calculé l'effort qui avait dû occasionner la rupture, a trouvé qu'il aurait été capable de soulever un poids de 27720 livres.

375. Lorsqu'à la suite d'un dégel le retour de la gelée convertit en glace l'eau dont la terre était imbibée, cette glace, qui a subi une augmentation de volume, serre les végétaux naissans par le collet de leur racine, et attaque d'une manière funeste cette partie, qui leur sert à pomper les sucs nourriciers que la terre leur fournit. Un froid vif qui survient pendant le printemps, produit aussi des effets nuisibles dans l'intérieur même des plantes qui déjà commençaient à se développer. La sève, composée d'eau en grande partie, se dilate en se congelant, tandis qu'au contraire les fibres de la plante éprouvent une contraction, et il en résulte des espèces de déchirures qui occasionnent un dérangement dans l'organisation.

La même cause étend son influence destructive jusque sur les êtres inorganiques. Les pierres qui ont été mouillées avant la gelée s'exfolient; les marbres que l'on a fait sauter au moyen de la poudre à canon, et où il s'est formé des gerçures par l'ébranlement qu'ils ont éprouvé, sont sujets, dans le même cas, à éclater en divers endroits. Il est bon que les artistes

connaissent la cause de ces accidens, pour être à portée de les prévenir.

De la Congélation du Mercure.

376. Le mercure est, après l'eau, celui de tous les liquides dont la congélation ait donné lieu aux observations les plus intéressantes. Cette substance, qui paraît jouer un rôle si singulier dans la nature, n'est réellement qu'un métal capable d'entrer en fusion par une température incomparablement moins élevée que celle qu'exigent les métaux ordinaires pour se fondre, ce qui seul indique que le degré de froid nécessaire pour le solidifier est bien en deçà du zéro de nos thermomètres. Déjà Delisle et Gmelin avaient vu le mercure se congeler naturellement en Sibérie, dans les thermomètres dont ils faisaient usage. Mais ce phénomène était resté inconnu, ou avait été révoqué en doute, lorsqu'au mois de décembre 1759, M. Braun, membre de l'Académie de Pétersbourg, ayant profité d'un froid très-rigoureux qui régnait alors dans cette ville, et qui était de — $34^{d.}$ de Fahrenheit (ce qui répond à 29 $\frac{1}{3}$ au-dessous du zéro du thermomètre en 80 parties), parvint, à l'aide d'un mélange de glace pilée et d'acide nitrique, à faire descendre le mercure dans le tube de son thermomètre, jusqu'à — $69^{d.}$ de Fahrenheit (— $44^{d.}$ $\frac{8}{9}$ du thermomètre en 80 parties). Il vit alors qu'une partie du mercure s'était congelée, et encouragé par ce premier succès, il poursuivit ses expériences, en substituant de la neige à la glace; le mercure continua de descendre, et parvint, dans une dernière expérience, jusqu'à — $352^{d.}$ (— $170^{d.}$ $\frac{2}{3}$ du thermomètre en 80 parties). M. Braun ayant retiré du mélange son thermomètre, et en ayant soigneusement examiné la boule, n'y apperçut aucune fissure; en même temps il vit que le mercure était immobile, ce qui dura pendant environ douze minutes. Quelques jours après il répéta l'expérience avec Æpinus, et étant encore parvenu à fixer le mercure, il brisa la boule de son thermomètre, et en retira le métal sous la forme d'une masse solide brillante, qui s'étendit par la percussion, en ren-

dant un son sourd semblable à celui du plomb, dont elle se rapprochait aussi beaucoup par sa dureté (1).

On ne pouvait plus douter alors que le mercure ne fût susceptible d'une congélation proprement dite, mais on était loin de connaître le véritable degré de froid qui suffisait pour la produire. M. Braun et plusieurs autres physiciens ont jugé ce degré beaucoup plus bas qu'il n'était en effet, pour avoir confondu deux effets très-distincts; savoir, la température qu'avait ce métal au moment de la congélation, et la contraction considérable qu'il éprouvait en achevant de se fixer, ce qui le mettait en contraste, sous ce rapport, avec l'eau, qui, comme nous l'avons vu, éprouve au contraire une dilatation, avant d'atteindre le terme où elle se congèle.

377. L'idée qui devait conduire à la détermination de cette limite, qui est relativement au mercure ce qu'est à l'égard de l'eau le zéro du thermomètre en 80 parties, se présenta en même temps à Black et à Cavendish, deux des hommes les plus faits pour se rencontrer. Ils raisonnèrent du mercure comme de l'eau elle-même, dont la température est sensiblement constante, depuis le moment où ce liquide commence à se congeler, jusqu'à celui où toute la masse est devenue solide. M. Cavendish, pour rendre encore plus frappante l'analogie suggérée par cette observation, en fit l'application à des métaux aisément fusibles, tels que le plomb et l'étain; et il trouva qu'un thermomètre plongé dans l'un ou l'autre de ces métaux, demeurait stationnaire pendant tout le temps du passage de la liquidité à la solidité (2).

L'appareil destiné pour les expériences relatives au mercure, consistait en un petit thermomètre à mercure, que l'on introduisait dans un matras de verre dont la boule était remplie du même métal, et environnée d'un mélange de matières frigorifiques. On voyait le mercure descendre progressivement dans

(1) Nov. Comment. Acad. Scient. imper. Petropol., t. XI.

(2) Philosoph. Transact., 1783, p. 313.

le tube du thermomètre, jusqu'au moment où commençait la congélation de celui qui était dans le matras, et s'arrêter ensuite au même point, pendant tout le temps qu'elle continuait de s'opérer. On trouva que le terme indiqué alors par le mercure du thermomètre répondait environ à —39$^{d.}$ de Fahrenheit (—31$^{d.}$ $\frac{1}{2}$ du thermomètre en 80 parties). Si l'on employait un thermomètre à alkohol construit d'après cette même division, on avait à-peu-près 28 degrés au-dessous de zéro, pour le terme correspondant.

378. L'expérience de la congélation du mercure a été répétée plusieurs fois à Paris depuis quelques années. Les personnes qui ont eu le courage de prendre avec la main le métal figé, ont éprouvé une sensation douloureuse, dont elles n'ont pu donner une plus juste idée qu'en la comparant à celle que produit une forte brûlure. Rien ne justifiait mieux le langage des poètes qui, pour peindre un froid très-vif, l'ont appelé un *froid brûlant*.

Cristallisation des Substances métalliques par le refroidissement.

379. La plupart des métaux, en se solidifiant après avoir été fondus, subissent une cristallisation régulière. Le calorique agit ici par rapport à un métal en fusion, comme les liquides ordinaires à l'égard d'un sel qu'ils tiennent à l'état de dissolution. Dans l'un et l'autre cas, c'est la retraite de la substance d'abord interposée entre les molécules métalliques ou salines, qui leur permet de se rapprocher et de s'unir sous des formes géométriques, lorsqu'elle se fait assez lentement pour leur donner le loisir de prendre l'arrangement qui s'accorde avec les lois de la cristallisation.

Les premiers indices que l'on ait observés de ces phénomènes, paraissent avoir été ces espèces d'étoiles branchues qui se forment sur la surface de l'antimoine. Ce fut aux yeux des alchimistes qu'elles se présentèrent d'abord, et ils expliquèrent le

fait en alchimistes : c'était une étoile d'heureux présage, qui leur promettait la métamorphose de l'antimoine en or.

Les expériences faites sur le bismuth par Brongniart, professeur au Muséum d'Histoire naturelle, ont offert le premier exemple d'un métal converti en cristaux saillans, par un procédé semblable à celui que Rouelle avait employé par rapport au soufre, et qui consiste à laisser d'abord figer la surface du métal, puis à percer cette espèce de croûte et à survider le creuset. Lorsqu'on brise ensuite ce creuset, après l'entier refroidissement, on en trouve la cavité toute tapissée de cristaux, qui présentent, suivant les circonstances, des groupes d'octaèdres ou de cubes disposés sur des lignes perpendiculaires entre elles, et rentrantes comme les contours d'une volute.

On a cru que le vide laissé par le métal qui était sorti du creuset, en donnant accès à l'air, favorisait la production des cristaux. La vérité est que ces cristaux se forment au milieu même du métal encore en fusion, par le rapprochement des parties qui se refroidissent les premières. Il en est de ce métal, à-peu-près comme de l'eau qui se congèle au milieu de l'eau même encore liquide. On ne fait autre chose, en survidant le creuset, que mettre à nu les cristaux déjà formés, et les dégager de la matière métallique enveloppante, avec laquelle ils ne feraient bientôt plus qu'une masse solide après le refroidissement. C'est ce dont on peut s'assurer en cernant, avec la pointe d'un canif, la croûte qui s'est formée à la surface ; on retirera cette croûte couverte en dessous de cristallisations semblables à celles que nous avons décrites. Le bismuth est un des métaux qui se prête le plus facilement à ce genre d'observations.

3. De l'Eau à l'état de Vapeur.

Nous nous sommes déjà occupés de ce sujet, en traitant du calorique, qui est le principal agent des phénomènes qu'il présente. Il ne nous reste plus ici qu'à exposer plusieurs détails

que nous n'avons point fait entrer d'abord dans le tableau de ces phénomènes, pour y répandre plus de netteté, en n'y laissant distinguer, à la première vue, que ceux qui ont une liaison plus étroite avec les principes de la théorie. Nous nous bornerons aux résultats qui concernent la vapeur considérée en elle-même, et nous réserverons pour l'article de l'air d'autres détails qui dépendent de l'union de la vapeur avec ce fluide.

380. Lorsque l'ébullition, qui annonce l'instant où la vapeur parvient à son *maximum*, est produite au moyen du feu, que nous supposons agir en dessous du vase qui contient le liquide, la couche inférieure de celui-ci recevant immédiatement le calorique qui s'introduit dans le vase, doit aussi être la première à se vaporiser. Mais le même effet a lieu sous un récipient où l'on fait le vide, pour déterminer l'ébullition par une température beaucoup plus basse que celle qui serait nécessaire sous la pression de l'atmosphère (208). Dans ce cas, le refroidissement occasionné par la raréfaction de l'air renfermé sous le récipient (216), agit sur la couche supérieure, et de proche en proche sur les suivantes, par des degrés toujours décroissans; d'où il suit que la couche la plus basse qui conserve le plus de chaleur, doit encore fournir les premières bulles.

381. Lorsque l'eau vaporisée rencontre les corps voisins dont la température est beaucoup plus basse que la sienne, elle leur cède à l'instant une grande partie du calorique qui la tenait à l'état de fluide élastique, et reprenant l'état de liquide, elle adhère à la surface de ces corps sous la forme d'une couche d'humidité. De là cette vive impression de chaleur que ressent la main ou toute autre partie du corps qui se trouve exposée subitement à la vapeur de l'eau.

382. L'extinction du feu, produite par l'injection de l'eau sur les corps embrasés, n'est autre chose, dans les idées du vulgaire, que l'effet d'une espèce de lutte entre deux substances ennemies, dont l'une arrête les progrès de l'autre. La véritable explication du phénomène est que l'eau intercepte d'une part le contact de l'air avec le corps combustible, et d'une autre part enlève, en se vaporisant, une partie du calorique

nécessaire pour produire entre les molécules du même corps un écartement qui les dispose à s'unir avec l'oxigène de l'air.

383. Tandis que l'eau encore liquide s'échauffe de plus en plus, ses dilatations varient dans un rapport sensiblement plus grand que les accroissemens de chaleur, et cette différence est surtout marquée aux approches de l'ébullition. C'est ce que l'on concevra en faisant attention que quand la distance entre les molécules aqueuses s'est accrue à un certain point, par la force élastique du calorique, l'affinité, qui n'agit très-sensiblement que près du contact, doit diminuer toujours plus rapidement, même en supposant des augmentations égales de chaleur ; ensorte que les dilatations, au contraire, croîtront dans un très-grand rapport. Cependant l'effet total de la dilatation, depuis le terme de la glace fondante jusqu'à celui de l'eau bouillante, se borne à augmenter d'environ $\frac{1}{26}$ le volume de l'eau. Mais au moment de l'ébullition, la dilatation fait un saut brusque ; et suivant les expériences les plus modernes, la vapeur se développe rapidement dans un espace dix-sept cent vingt-huit fois plus grand que celui qu'occupait l'eau dans l'état de simple liquidité, ensorte que chaque pouce cube de cette eau produit un pied cube de vapeur.

384. C'est à cette grande expansion de l'eau vaporisée qu'est dû l'effet de l'éolipile, que l'on a si long-temps attribué à la dilatation de l'air. On appelle ainsi un vase de métal en forme de poire creuse, dont la queue est un tube recourbé. On chauffe le vase pour chasser une grande partie de l'air qu'il renferme, puis on plonge l'orifice du tube dans l'eau, jusqu'à ce que ce liquide, que la pression de l'air environnant introduit dans la capacité du vase, en remplisse la moitié ou au plus les deux tiers. On place ensuite l'éolipile, le fond tourné en bas, sur des charbons ardens, et l'on anime le feu, jusqu'à ce qu'un souffle violent sorte par l'orifice du tube. Enfin on incline l'éolipile de manière que son tube soit situé verticalement, l'orifice en haut, et l'on continue de le chauffer. Aussitôt la partie de l'eau encore liquide, chassée par la vapeur, s'élance sous la forme d'un jet qui s'élève quelquefois à la hauteur de 8 mètres

ou d'environ 25 pieds. Si la liqueur est de l'alkohol, on aura un jet de feu en présentant un flambeau allumé à-peu-près à un décimètre au-dessus de la naissance du jet.

385. La vapeur de l'eau devient capable de produire des effets beaucoup plus étonnans par sa force expansive. On trouve dans les Mémoires de l'Académie des Sciences pour l'année 1707, des observations communiquées par Vauban, d'où il résulte que 140 livres d'eau convertie en vapeur, produisent une explosion capable de faire sauter une masse de 77000 livres, tandis que 140 livres de poudre ne peuvent opérer un semblable effet que sur une masse de 30000; ensorte que la force de l'eau en vapeur, serait plus que double de celle de la poudre.

Des Machines à Vapeur.

Des effets aussi puissans que ceux dont nous venons de parler ne devaient pas demeurer stériles pour les besoins des arts : c'était une nouvelle force motrice que la mécanique demandait au génie qui l'avait créée, et en avait mesuré l'énergie. Cette science, pendant long-temps, n'avait employé l'eau, sous ce rapport, qu'en profitant de son cours naturel, ou en lui ménageant une chute, pour lui soumettre le jeu des machines qu'elle dirigeait par une impulsion toujours renaissante. Les expériences entreprises sur la force de l'eau réduite en vapeur, firent naître l'idée de l'appliquer avec d'autant plus d'avantage au même objet, qu'indépendamment de sa grande énergie, elle peut être transportée partout où l'appelleront les intérêts du commerce et de l'industrie.

386. L'exécution des machines à vapeur a eu, comme celle de toutes les autres machines, ses différentes époques, auxquelles répondent successivement de nouveaux degrés de perfection. Diminuer, autant qu'il est possible, la quantité de l'évaporation nécessaire à l'effet qu'on a en vue, et par là ménager le combustible ; joindre à cette première économie celle de la matière et de la main d'œuvre, en resserrant les dimensions des pièces, sans nuire aux résultats ; prévenir les

explosions, par de sages précautions prises contre un agent dont la puissance devient destructive quand elle n'est pas limitée : tels sont en général les objets qui ont fixé l'attention des constructeurs, et excité entre eux une sorte de rivalité. Nous nous bornerons aux moyens de perfection qui marquent le plus, et nous n'entrerons dans la description des machines, qu'autant qu'elle sera nécessaire pour l'intelligence de l'effet principal.

Tous les mouvemens de la machine à vapeur, tirent leur origine du jeu d'un piston qui s'élève et s'abaisse alternativement dans un tuyau cylindrique, en communication avec une chaudière où la vapeur se forme par l'action du feu que l'on entretient en dessous. La manière dont la vapeur contribue au jeu du piston varie suivant les différentes méthodes; et notre objet est surtout de comparer ces méthodes, et de faire voir les nouveaux avantages qu'elles amenaient avec elles à mesure qu'elles se succédaient l'une à l'autre.

387. La première méthode dont le succès se soit annoncé par un empressement général à l'imiter, est celle qu'on attribue communément à un Anglais, nommé Savery, mais dont l'invention est due à deux autres Anglais; l'un s'appelait Newcomen, et l'autre Jean Cawley. La machine qui appartient réellement à Savery, avait beaucoup de rapport avec la fontaine de compression que nous décrirons à l'article de l'Air, et dans laquelle ce fluide condensé exerce sur l'eau une pression qui la détermine à s'élancer par un canal qui lui offre une libre issue : toute la différence consistait en ce que Savery substituait la force de la vapeur à celle de l'air comprimé. Savery, en s'associant Newcomen, s'empara de sa découverte, et son ambition éclipsa bientôt l'homme simple et modeste qui bornait la sienne à bien faire.

Pour concevoir le jeu de la machine dont il s'agit, supposons que le piston soit descendu au point le plus bas de sa course; à l'instant la communication s'ouvre entre la chaudière et le fond du cylindre, par un mouvement de côté que fait un cercle nommé *régulateur*, qui, auparavant, fermait cette communi-

cation ; la vapeur s'introduit en dessous du piston, et le pousse de bas en haut par sa force expansive. Lorsqu'il a fini de monter, le régulateur se remet à sa place et, au moyen d'un robinet qui s'ouvre à l'instant, un jet d'eau froide sort d'un tuyau abonché au cylindre, et va frapper la base inférieure du piston, d'où retombant sous la forme d'une pluie, il condense la vapeur, et en détruit l'effet. Alors l'air atmosphérique, qui agit par sa pression sur la base supérieure du piston, le détermine à descendre ; après quoi l'émission de la vapeur et les autres effets se succèdent de nouveau, de manière à perpétuer les mouvemens alternatifs du piston.

Le haut de la tige du piston est attaché à l'une des extrémités d'un balancier, dont l'extrémité opposée fait mouvoir en sens contraire la tige d'un second piston adapté à une véritable pompe, dans laquelle l'eau s'élève à l'ordinaire.

Cette machine avait surtout deux inconvéniens dont on ne tarda pas à s'appercevoir : d'une part, l'injection d'eau froide en se faisant dans le cylindre même, en refroidissait les parois ; d'une autre part, on était obligé de tenir la base supérieure du cylindre toujours couverte d'eau, tant pour empêcher le dessèchement des cuirs, que pour fermer tout accès à l'air dans la partie inférieure du cylindre où s'introduisait la vapeur ; d'où il arrivait que le piston, pendant sa descente, humectait à son tour les parois du cylindre. Pour compenser l'effet du refroidissement produit par les deux causes dont nous venons de parler, il fallait fournir une plus grande quantité de vapeurs, d'où résultait un double défaut d'économie dans l'emploi du métal dont on faisait la chaudière qui devait avoir une plus grande capacité, et dans la consommation du combustible.

388. La machine imaginée par le célèbre Wats, réunit à l'avantage de faire disparaître ces inconvéniens, une perfection qui semble l'avoir rendue neuve sous tous les rapports. Ce qui la distingue principalement, est le double emploi de la vapeur, dont une partie s'introduit en dessous du piston, comme dans la machine attribuée à Savery ; et l'autre en dessus du même piston ; ensorte que l'intérieur du cylindre n'a aucune com-

munication avec l'air atmosphérique, qui n'entre pour rien dans le jeu de la machine. De plus, l'extrémité du balancier, opposée à celle qui conduit le piston du cylindre à vapeur, est chargée d'un contre-poids dont nous verrons l'usage dans un instant. Enfin le bas du cylindre communique avec un tuyau nommé *condenseur*, qui est placé de côté, et dans lequel s'opère la condensation.

Supposons maintenant le piston arrivé au point le plus haut de sa course, ensorte qu'il y ait un vide dans toute la partie du cylindre située en dessous, et que le piston ne soit retenu dans sa position que par l'action du contre-poids dont nous avons parlé. Dans cet état de choses, la vapeur entre par dessus le piston, et sa force prépondérante, à l'égard de celle du contre-poids, détermine le piston à descendre jusqu'à ce qu'il ait terminé son jeu. A l'instant une nouvelle vapeur s'introduit en dessous du piston, et le force de monter, jusqu'à ce qu'il se trouve en équilibre entre les deux vapeurs : alors il continue de s'élever par l'action du contre-poids, que rien n'empêche plus d'obéir à la pesanteur. A mesure que le piston monte, il refoule la vapeur qui est en dessus, et qui va se rendre sous sa base inférieure, pour remplir l'espace qu'il laisse vide par son ascension. Ce mouvement terminé, le condenseur s'ouvre, et permet à la vapeur de s'introduire dans sa cavité, où elle est condensée par une injection d'eau froide. Le piston redescend ensuite, et remonte alternativement, en vertu d'une combinaison semblable des différentes actions produites par les deux vapeurs et par le contre-poids.

On voit aisément que cette construction est beaucoup mieux ordonnée que la précédente, pour prévenir la dépense superflue de vapeur et de combustible occasionnée par le refroidissement du cylindre. La machine de Chaillot, près Paris, dans laquelle on l'a employée, et dont l'exécution est due aux talens des frères Perrier, a pour objet, comme l'on sait, d'élever l'eau d'un puisard qui communique avec la Seine, pour la distribuer ensuite dans différens quartiers de Paris. Suivant le prospectus publié par les auteurs, cette machine peut fournir,

dans l'espace de 24 heures, environ treize mille sept cent onze mètres cubes, ou quatre cent mille pieds cubes d'eau.

389. On ne connaissait encore ici rien de plus parfait en ce genre, lorsqu'en 1788, Betancourt ayant fait un voyage à Londres, y vit une nouvelle machine à vapeur, exécutée par les soins de Wats et de Bolton. On se contenta de lui dire que cette machine avait beaucoup d'avantages sur les autres; mais du reste, on lui fit mystère du mécanisme, et le secret était bien gardé par la machine elle-même, pour un observateur qui ne faisait guère que passer devant un ensemble de pièces, les unes tout-à-fait intérieures, les autres masquées en partie par la disposition du bâtiment. Cependant Betancourt devina le principe, et, de retour à Paris, il construisit un modèle, où il fit l'application de ce principe par des moyens également simples et ingénieux.

Dans cette nouvelle machine, la vapeur s'introduit aussi en dessous et en dessus du piston; mais la perfection du mécanisme consiste en ce que l'injection d'eau froide se répète des deux côtés, ensorte qu'elle condense tour à tour la vapeur supérieure, en laissant à celle qui agit par dessous toute sa force pour élever le piston, et la vapeur inférieure, pour donner lieu à celle qui passe dans le haut du cylindre d'exercer de même tout son effort sur la base supérieure du piston. Il en résulte que le piston est poussé avec la même force, en montant et en descendant; et de là naissent plusieurs avantages très-marqués.

D'abord le contre-poids se trouve supprimé, et c'est une surcharge de moins pour la machine; ensuite, l'égalité d'impulsion qui a lieu dans quelque sens que se meuve le piston, permet de l'appliquer comme une puissance uniforme à un mouvement de rotation qui agit sans interruption pour produire l'effet que l'on a en vue. Ainsi, au lieu que, dans la première machine, le piston ne contribue à l'effet principal, que quand il s'abaisse, ici le piston, soit en montant, soit en descendant, agit toujours efficacement. Supposons que celui de la première machine ait une base double de celle du piston

de la seconde ; la colonne de vapeur, qui presse sur la base de celui-là, exercera, toutes choses égales d'ailleurs, une pression double de celle qu'éprouve la base de l'autre. Mais dans les deux mouvemens du premier, il y en a un qui n'est que de renvoi ; d'où il suit que si le second piston, qui travaille sans cesse utilement, agit sur un lévier double, il fera en deux temps ce que l'autre ne produit que pendant sa descente.

De là résulte d'abord une épargne sur la matière du cylindre, et ensuite sur celle des pièces qui en dépendent. De plus, on peut diminuer la capacité et l'épaisseur de la chaudière, parceque la vapeur n'a pas besoin de s'y accumuler comme dans l'autre, d'où elle ne sort que par intervalles. Enfin la surface de l'eau, encore liquide dans la chaudière, y étant moins comprimée par la vapeur qui se forme au-dessus, cette eau se vaporise à son tour par un moindre degré de chaleur, ce qui, joint aux autres causes, procure une grande économie de combustible.

On voit à Paris, dans l'île des Cygnes, une machine construite d'après le principe que nous venons d'exposer, et qui est employée à faire mouvoir des moulins à blé.

Nous n'avons pu qu'ébaucher la description de cette machine, ainsi que des précédentes. Nous passerions les bornes que nous sommes obligés de nous prescrire, si nous entreprenions de parcourir tous les différens accessoires employés à introduire ou à condenser la vapeur, et de faire connaître les moyens qui ont été pris pour entretenir l'uniformité du mouvement, pour prévenir les accidens que pourrait occasionner une trop forte condensation, etc. Nous devons observer, à ce sujet, que dans les premiers essais de la machine à feu, il fallait des hommes spécialement chargés de tourner à chaque instant les robinets qui donnent passage à la vapeur ou à l'injection de l'eau froide. Aujourd'hui tout se réduit à la surveillance de celui qui entretient le feu ; le reste marche de soi-même. La force de la vapeur qui anime le corps de la machine, se transmet aux différentes pièces qui lui tiennent lieu de bras et de mains ; et le même génie qui a su convertir un peu d'eau pénétrée de chaleur

en un agent capable de produire les mouvemens qui exigent de puissans efforts, est parvenu encore à pouvoir s'en reposer sur cette cause aveugle, de ceux même qui semblent demander une attention vigilante et des soins assidus.

Ainsi, en comparant les effets de l'eau dans ses deux états extrêmes, celui de solidité et celui de fluidité élastique, on voit, avec une double surprise, la grande énergie qu'elle déploie pour rompre ses barrières, soit lorsque ses molécules restent abandonnées à la force qui agit pour les enchaîner, soit lorsqu'elles sont lancées par la force qui tend à les écarter les unes des autres.

V. DE L'AIR.

390. Après avoir exposé les propriétés du liquide, qui baigne la surface de notre globe ou coule dans son intérieur, nous allons considérer celles du fluide invisible qui l'environne jusqu'à une grande hauteur. Ici un intérêt très-vif se mêle à celui que la science inspire par elle-même, pour nous solliciter vers l'étude de ce fluide, au milieu duquel nous sommes continuellement plongés, qui agit sur nous de tant de manières différentes, et auquel nous sommes redevables à-la-fois et de la conservation de notre vie, et de ce qui en fait un des principaux agrémens, puisque c'est à lui que nous confions d'abord nos pensées, pour les transmettre à nos semblables, avec la parole qui en est le signe.

391. On avait remarqué, de tout temps, que l'air est toujours chargé d'une quantité plus ou moins considérable de principes hétérogènes, d'émanations de différentes espèces, et surtout de vapeurs aqueuses. Mais l'air, en le supposant dégagé de toutes ces matières étrangères qui altèrent sa pureté, était regardé comme un être simple, et un des quatre élémens dans lesquels tous les corps se résolvaient en dernière analyse. Il est prouvé aujourd'hui que ce fluide est formé de deux principes très-différens, dont l'un a été nommé *gaz oxigène*, et l'autre

gaz

gaz azote. Le premier, s'il existait seul, serait trop respirable et consumerait notre vie; le second, lorsqu'on l'a obtenu isolément, suffoque les animaux qui y sont plongés. Du mélange des deux se forme un fluide parfaitement assorti aux fonctions de l'économie animale. Les détails relatifs à cet objet, ainsi que la manière dont l'air se décompose par la respiration, appartiennent encore à la science qui nous a dévoilé la véritable nature de ce fluide. Nous ne l'envisagerons ici que dans son état ordinaire, et nous ramènerons à quatre points de vue les connaissances que nous avons à développer. Le premier nous offrira les propriétés dont l'air jouit le plus constamment, telles que sa pesanteur et son élasticité; le second comprendra celles qui résultent de sa dilatation par une surabondance de calorique; le troisième sera relatif à son union avec l'eau, dont il est le dissolvant; le dernier aura pour objet ce mouvement particulier de vibration, à l'aide duquel l'air devient le véhicule du son.

1. De la Pesanteur et du Ressort de l'Air.

392. Galilée, dont le nom se présente comme de lui-même, toutes les fois qu'il s'agit des premières recherches sur la pesanteur, avait vérifié celle de l'air, qui était niée presque généralement avant lui, quoiqu'elle eût été reconnue par quelques philosophes de l'antiquité. Ce célèbre physicien, ayant injecté de l'air dans un vaisseau de verre, de manière qu'il y restât comprimé, trouva que le vaisseau pesait davantage que quand l'air y était dans son état naturel. Il chercha même, par une autre expérience, la pesanteur de ce fluide comparée à celle de l'eau; mais il la trouva seulement dans le rapport de l'unité à 400, beaucoup trop faible, comme nous le verrons dans l'instant.

Idée de la Machine Pneumatique.

393. On ne connaissait point encore la machine pneumatique, à l'époque dont nous venons de parler. C'est à Ottò de Guericke, bourgmestre de Magdebourg, que nous sommes redevables de l'invention de cette belle machine, qui n'a pas, comme les autres, un rang à part dans la Physique expérimentale, dont presque toutes les branches ont besoin d'elle.

Cette machine, réduite à sa plus grande simplicité, est composée d'un cylindre vertical de cuivre, dans lequel se meut un piston, et dont la base supérieure porte un robinet, au-dessus duquel est soudée une platine circulaire, située horizontalement. C'est sur cette platine que l'on place les récipiens que l'on veut purger d'air, ce qui s'exécute en faisant descendre et monter alternativement le piston. Dans le premier cas, le robinet est ouvert de manière à établir une communication entre la capacité du récipient et celle du cylindre; lorsque le piston est descendu, on ferme le robinet, dont la clef est percée d'une ouverture tellement disposée, qu'elle donne une issue à l'air que le piston chasse en se relevant, sans lui permettre de rentrer dans le récipient. On a beaucoup varié la construction de cette machine, et les Anglais en ont imaginé une à deux corps de pompe, dont les pistons jouent au moyen d'une manivelle et d'une roue dentée; diverses soupapes ouvrent et ferment alternativement la communication entre le récipient et les corps de pompe, et entre ces derniers et l'air extérieur, ensorte que l'on ne fait mouvoir le robinet que deux fois, l'une avant l'expérience, pour donner un passage à l'air qui doit sortir du récipient, l'autre à la fin, pour maintenir le vide.

Expériences sur la Pesanteur de l'Air.

394. Munis de l'instrument que nous venons de décrire, les physiciens ont constaté la pesanteur de l'air, par une expérience très-simple, qui consiste à peser d'abord un ballon plein

d'air, puis à le peser de nouveau, après y avoir fait le vide : on s'aperçoit d'une diminution sensible dans le poids du ballon.

On a cherché aussi à déterminer exactement la pesanteur spécifique de l'air. Suivant les résultats de Deluc, le rapport entre les poids de l'air et de l'eau distillée, à la température de la glace fondante, sous une pression moyenne de 28 pouces de mercure, est celui de 1 à 760. M. Biot, dans une expérience plus récente, faite avec une extrême précision, a trouvé $\frac{1}{770,30}$ pour le rapport dont il s'agit.

Cause de l'élévation de l'Eau dans les Pompes.

395. La pesanteur de l'air une fois reconnue, il semble qu'il n'était pas difficile d'apercevoir que c'est à la pression de ce fluide qu'est due l'ascension de l'eau dans les corps de pompe. Mais il a fallu, pour amener là les physiciens, une de ces observations inattendues, faites pour exciter dans les esprits cette espèce d'inquiétude et d'agitation favorable aux découvertes.

On se rappelle que les anciens philosophes, quand on leur demandait pourquoi l'eau montait dans les pompes, se tiraient d'affaire, en répondant que la *nature avait horreur du vide ;* ce qui n'était autre chose qu'une manière fastueuse et imposante d'avouer qu'ils n'en savaient rien. Des fontainiers italiens s'étant avisés de vouloir faire des pompes aspirantes, dont les tuyaux avaient plus de trente-deux pieds de hauteur, remarquèrent, avec surprise, que l'eau refusait de s'élever au-dessus de cette limite. Ils demandèrent à Galilée l'explication de ce fait singulier ; et l'on prétend que ce philosophe, pris au dépourvu, répondit que la nature n'avait horreur du vide que jusqu'à trente-deux pieds. Torricelli, disciple de Galilée, ayant médité sur le phénomène, conjectura que l'eau s'élevait dans les pompes par la pression de l'air extérieur, et que cette

pression n'avait que le degré de force nécessaire pour contre-balancer le poids d'une colonne d'eau de trente-deux pieds.

Il vérifia cette conjecture par une expérience, dont la Physique lui a doublement obligation, parcequ'en servant à mettre en évidence une découverte importante, elle nous a procuré le baromètre. Torricelli vit le mercure s'arrêter à 28 pouces dans un tube de verre scellé à sa partie supérieure et situé verticalement; et la hauteur dont il s'agit, étant à celle de trente-deux pieds dans le rapport inverse des densités de l'eau et du mercure, il en conclut que le phénomène appartenait à la statique, et que c'était réellement, comme il l'avait deviné, la pression de l'air qui déterminait l'eau ou le mercure à s'élever jusqu'à ce qu'il y eût équilibre.

Ceci se passait en 1643. L'année suivante, la nouvelle de l'expérience de Torricelli se répandit en France par une lettre écrite d'Italie au père Mersenne. L'expérience fut faite de nouveau en 1646, par Mersenne et Pascal; et celui-ci imagina, en 1647, un moyen de la rendre encore plus décisive, en la faisant à différentes hauteurs. Il invita, en conséquence, son ami Périer à la répéter sur la montagne du Puy-de-Dôme, et à observer si la colonne de mercure descendrait dans le tube à mesure qu'on s'éleverait davantage. On voit par la lettre de Pascal à Périer, où il semble éviter de nommer Torricelli, qu'il n'avait pas encore tout-à-fait renoncé à la chimère de l'horreur qu'on avait attribuée à la nature pour le vide, et qu'en convenant que cette horreur n'était pas invincible, il n'osait assurer qu'elle n'eût pas lieu dans quelques circonstances. Le plein succès de l'expérience acheva de le désabuser. Mais cette expérience n'était que confirmative de celle de Torricelli, et ajoutait seulement un rayon de plus au trait de lumière qui en était sorti.

Effets de la Pression de l'Air sur le corps de l'Homme.

396. La pression de l'atmosphère sur une surface donnée, étant à-peu-près la même qu'exercerait sur cette surface une colonne d'eau de trente-deux pieds de hauteur, on a calculé, d'après cette donnée, l'effet de la pression dont il s'agit, par rapport à un homme de moyenne grandeur, et on a trouvé qu'elle équivaut à un poids de 33600 livres, environ 16000 kilogrammes. Voilà le poids dont étaient chargés les anciens philosophes, qui niaient sérieusement la pesanteur de l'air.

Quelque considérable que soit ce poids, sa pression s'exerce, pour ainsi dire, à notre insçu, parce qu'elle est continuellement balancée par la réaction des fluides élastiques renfermés dans les cavités intérieures du corps; et quoique l'air soit sujet à des variations continuelles, qui augmentent ou diminuent sa densité, par une suite du changement de température et de l'action de diverses causes naturelles, comme ces variations, en général, sont renfermées entre des limites peu étendues, et qu'elles se font successivement et avec lenteur, elles ne nous affectent, pour l'ordinaire, que d'une manière peu sensible. Mais s'il arrive un changement brusque, comme lorsque l'homme s'élève à de grandes hauteurs, la rupture d'équilibre qui en résulte a une influence très-marquée sur l'économie animale. On éprouve alors une fatigue extrême, une impuissance absolue de continuer sa marche, un assoupissement auquel on succombe malgré soi : la respiration devient pressée et haletante; les pulsations du pouls prennent un mouvement accéléré (1). Pour expliquer ces effets, on a considéré que l'état de bien-être, dans tout ce qui dépend de la respiration, exige qu'une quantité d'air déterminée traverse les poumons dans un temps donné. Si donc l'air que nous respirons devient beaucoup plus rare, il faudra que

(1) Saussure, Voyage dans les Alpes, numéros 559 et 2021.

les inspirations soient plus fréquentes à proportion; ce qui rendra la respiration pénible, et occasionnera les divers symptômes dont nous avons parlé.

A l'égard des inconvéniens qui résulteraient d'un air trop condensé, l'homme n'y est pas exposé par l'action des causes naturelles; et il paraît qu'en général ils sont moindres que ceux qui ont pour cause la raréfaction de l'air. On ne peut citer ici comme une preuve de la grandeur de ces inconvéniens ce qui arrivait aux plongeurs, lorsqu'ils étaient renfermés sous une cloche qui descendait verticalement dans l'eau, et où l'air, pressé par le poids des colonnes environnantes, se contractait de plus en plus, à mesure que le vase se trouvait à une plus grande profondeur. Les accidens qui survenaient à l'homme qui avait séjourné, pendant un certain temps sous la cloche, dépendaient, en grande partie, de l'altération produite dans l'air par la respiration, et ce qu'avait de plus dangereux ce fluide, était le défaut de renouvellement.

Du Baromètre.

397. Les détails relatifs à la construction du baromètre, trouvent naturellement ici leur place. Cet instrument, ramené à sa plus grande simplicité, consiste dans un tube de verre de plus de trente pouces de hauteur, et scellé par le haut. On remplit ce tube de mercure, que l'on a soin de faire bouillir pour le purger d'air; puis en tenant le doigt appliqué sur l'orifice inferieur, on renverse le tube, et on le plonge, par le même côté, dans une cuvette de verre, où l'on a versé pareillement du mercure. On retire le doigt, et l'on voit à l'instant le mercure descendre dans le tube, à la hauteur d'environ 28 pouces; on attache ensuite le tube avec sa cuvette sur une planche divisée en pouces et en lignes, à partir du niveau que donne le mercure renfermé dans la cuvette. On a ainsi un moyen d'observer les variations que subit la pression de l'air, en vertu des causes d'où dépendent les phénomènes de la météorologie.

398. Cette construction est sujette à une imperfection qui empêche que les mouvemens de la colonne de mercure, estimés d'après les indications de l'échelle, ne soient exactement proportionnels aux différentes pressions de l'air ; car, à mesure que cette colonne monte ou descend, elle détermine une petite portion du mercure que renferme la cuvette, à passer dans le tube, ou à rentrer dans cette cuvette, ce qui fait varier la position du niveau ; ensorte qu'il ne répond pas constamment au zéro de l'échelle, qui est cependant le terme de départ auquel se rapporte l'observation de la hauteur à laquelle répond l'extrémité de la colonne sur la même échelle. Cette imperfection est d'autant moins sensible, que la cuvette a plus de largeur vers l'endroit de la ligne de niveau. On a imaginé différens moyens pour la faire disparaître : par exemple, dans certains baromètres, on a rendu l'échelle mobile dans le sens de sa hauteur ; de manière qu'à l'aide d'une vis de rappel, on est toujours maître de ramener la ligne de niveau à se trouver exactement vis-à-vis le zéro de l'échelle. On substitue alors à la cuvette une portion du tube même de l'instrument, qui, dans ce cas, est recourbé par sa partie inférieure, la variation sensible de niveau qui en résulte, pouvant toujours être corrigée par le mouvement de l'échelle. D'autres physiciens emploient une seconde cuvette d'une plus grande capacité, et remplie en partie de mercure, dans laquelle la cuvette du baromètre est entièrement plongée. Lorsqu'on veut faire une observation, on élève le baromètre avec sa cuvette au-dessus du mercure environnant ; et comme alors cette cuvette se trouve toujours pleine, la ligne de niveau donnée par la surface supérieure du mercure qu'elle contient, conserve une position fixe, par rapport à la graduation.

399. On voit par ce qui précède, que l'échelle du baromètre est réglée d'après un tout autre principe que celle du thermomètre. Les mouvemens de la liqueur, dans ce dernier instrument, se mesurent en parties proportionnelles à la distance entre les deux limites données par l'observation ; ils diffèrent dans les divers thermomètres, quoique par des degrés

semblables, quand les circonstances sont les mêmes : dans le baromètre, au contraire, où il n'y a qu'un terme fixe, savoir, le niveau qui s'établit de lui-même dès le premier instant, la hauteur de la colonne se mesure d'une manière absolue ; et elle augmente ou diminue par des degrés égaux, dans les différens baromètres soumis aux mêmes variations de l'atmosphère.

Si l'on veut introduire la division décimale dans l'échelle du baromètre, les limites des variations de la colonne, qui s'étendent dans l'espace compris à-peu-près entre le 26me et le 29me pouces, répondront, l'une à 70, et l'autre à 78 centimètres, depuis la ligne de niveau, ce qui fait huit centimètres pour le champ de l'observation : dans le même cas, l'élévation de 28 pouces répondra à 758 millimètres.

400. La hauteur moyenne du baromètre étant, comme nous venons de le voir, d'environ $0^{mèt},76$ et le rapport entre les pesanteurs spécifiques du mercure et de l'air, relatives à cette même hauteur, étant celui de 10475,68 à l'unité, d'après une expérience que nous citerons dans la suite, on déterminerait facilement la hauteur de l'atmosphère, si l'air dont celle-ci est composée avait partout la même densité qu'auprès de la surface de la terre. Il suffirait, dans cette hypothèse, de multiplier le rapport dont il s'agit par $0^{mèt},76$ ce qui donnerait $7961^{mèt},5$, ou environ 4084 toises, pour la hauteur cherchée. Mais cette détermination est bien éloignée de la véritable, à cause de la diminution que subit la densité de l'air, à mesure que ses différentes couches sont plus éloignées de la terre. Nous ferons connaître, en parlant des lois auxquelles est soumise la lumière, un autre moyen qui tend plus directement vers le même but, quoiqu'il laisse encore de l'incertitude sur le résultat que l'on en a déduit.

Expériences sur le Ressort de l'Air.

401. L'élasticité de l'air, dont nous allons maintenant nous occuper, est constatée par diverses expériences très-connues. Une des plus ordinaires est celle dans laquelle on emploie la machine appelée *fontaine de compression*. Elle consiste en un vase de métal d'une forme arrondie, dont le sommet est percé d'une ouverture, au moyen de laquelle on le remplit d'eau jusqu'aux deux tiers environ de sa capacité. On visse ensuite à l'endroit de la même ouverture un tube qui descend dans le vase jusqu'à une petite distance du fond, et dont la partie supérieure qui dépasse l'ouverture est garnie d'un robinet. On adapte à cette même partie une pompe foulante, et le robinet étant ouvert, on injecte une grande quantité d'air dans l'intérieur du vase : cet air, plus léger que l'eau, s'élève au-dessus, et son ressort augmente avec sa densité, à mesure qu'on donne de nouveaux coups de piston. On ferme le robinet, on dévisse la pompe, et on lui substitue une espèce de petit cône creux, ouvert par son sommet, qui est tourné en haut ; dès que l'on ouvre de nouveau le robinet, l'air condensé déployant sa force sur la surface de l'eau, la chasse par le canal plongé dans ce liquide, qu'on voit s'élancer au dehors, sous la forme d'un jet de dix mètres (environ trente pieds) de hauteur, ou davantage.

On peut obtenir un effet analogue, par le seul débandement du ressort naturel de l'air, en plaçant sous le récipient de la machine pneumatique un petit vase où tout soit semblable à ce qu'offre la fontaine de compression, au moment où l'on ouvre le robinet pour donner un libre passage à l'eau, excepté que l'air situé au-dessus de ce liquide est dans son état ordinaire. Tandis que l'on fait le vide, l'air renfermé dans le vase, et dont la pression sur l'eau n'est plus balancée par celle de l'air extérieur, se dilate, et fait naître un jet qui s'élève sous le récipient.

402. Mais l'expérience la plus intéressante qui soit relative

à cet objet, est celle de Boyle et de Mariotte, pour faire voir que l'air se resserre, à peu de chose près, dans le rapport des poids dont il est chargé. Ces sortes d'expériences méritent d'être préférées, parcequ'elles ne se bornent pas à prouver l'existence d'un phénomène, mais qu'elles nous font connaître encore comment il existe, en déterminant la loi à laquelle il est soumis.

On prend un tube de verre recourbé, dont la branche la plus courte, qui doit être partout d'une égale épaisseur, est d'environ 32 centimètres ou 12 pouces de hauteur, et scellée hermétiquement à son extrémité. L'autre branche, qui est ouverte, doit avoir au moins 26 décimètres, ou huit pieds de hauteur. Le tout est fixé sur une planche qui porte une division adaptée aux deux tubes. On fait d'abord couler un peu de mercure dans la partie recourbée, pour avoir une ligne de niveau, et l'on compte le nombre de degrés compris entre cette ligne et l'extrémité supérieure de la branche la plus courte. Dans cet état de choses, l'air qui occupe cette branche fait équilibre, par son ressort, à la pression de la colonne d'air atmosphérique qui pèse dans l'autre branche, et dont la pression se transmet au moyen du mercure renfermé dans la courbure inférieure. Cette pression, ainsi que nous l'avons vu, est égale à celle d'une colonne de mercure d'environ 76 centimètres, ou 28 pouces de hauteur. On verse ensuite du mercure dans la branche la plus longue, et en même temps l'air se resserrant dans l'autre branche, par l'excès de pression qui en résulte, le mercure s'élève dans cette même branche jusqu'à ce qu'il y ait encore équilibre. On mesure alors, d'une part, la longueur de cette colonne d'air comprimé, et de l'autre, l'excès de la colonne de mercure renfermée dans la branche la plus longue, sur celle qui occupe la plus courte. Supposons, pour plus de simplicité, que cet excès soit de 76 centimètres; on trouve que, dans ce cas, la colonne d'air comprimé est réduite à la moitié de la hauteur qu'elle avait avant qu'on eût introduit le mercure. Or cette colonne est chargée d'un poids double du premier, puisque l'on a ajouté

une pression de 76 centimètres de mercure, à une égale pression exercée par l'air atmosphérique, et qui n'est pas censée avoir diminué ; car on peut négliger la petite différence qui résulte de ce que les 76 centimètres qui terminent inférieurement cette colonne, sont actuellement occupés par le mercure. En général, si l'on prend le rapport entre la première pression due à la colonne de l'atmosphère, et une autre pression quelconque exercée par cette même colonne et par le mercure sur-ajouté, les espaces correspondans, occupés par l'air comprimé, seront entre eux dans le rapport inverse des pressions ; d'où l'on voit que l'air se contracte, ainsi que nous l'avons dit, à proportion des poids qui le compriment. Si l'on retire ensuite du mercure à plusieurs reprises, l'air s'étendra par son ressort, et les espaces qu'il occupera successivement en sens contraire, suivront encore le rapport inverse des pressions.

Cependant il est vraisemblable que ce rapport n'est sensiblement exact qu'entre certaines limites, même en supposant que l'air soumis à l'expérience soit sec et reste toujours à la même température, comme cela est nécessaire. Nous trouvons dans les auteurs de Physique plusieurs résultats d'expériences qui tendraient à prouver que l'on a poussé très-loin la contraction et la dilatation de l'air, par l'augmentation ou la diminution de pression ; mais il ne paraît pas que l'on doive compter beaucoup sur la précision de ces résultats.

Divers Phénomènes produits par la Pesanteur et par le Ressort de l'Air.

403. Si l'on suppose pour un instant, que l'air de l'atmosphère ait partout la même densité, et que l'on fasse attention ensuite à l'effet de la pesanteur sur les différentes couches de ce fluide élastique, il est aisé de concevoir que chaque couche, comprimée par le poids des couches supérieures, se resserrera dans le sens de sa hauteur, et que de plus, la densité des couches diminuera à mesure qu'étant à une plus grande distance

de la surface de la terre, elles seront pressées par un plus petit nombre de couches supérieures. C'est effectivement ce qui a lieu par rapport à l'atmosphère. Nous ferons connaître dans la suite la loi de ce décroissement, et le parti qu'on en a tiré pour mesurer les hauteurs à l'aide du baromètre.

404. On concevra de même qu'une partie quelconque d'une colonne de l'atmosphère, prise à la surface de la terre, doit toujours faire équilibre, par son ressort, à la pression de la partie supérieure. Ainsi l'air, exactement renfermé dans une coupe que l'on aurait posée dans une situation renversée, sur un plan parfaitement uni, ferait autant d'effort pour pousser le fond du vase de bas en haut, que l'air extérieur pour le pousser en sens contraire; de sorte que l'on n'éprouverait aucune difficulté à soulever ce vase, ce qui est d'ailleurs conforme à l'observation.

Mais si l'on supprime une quantité plus ou moins considérable d'air intérieur, comme cela a lieu lorsqu'on fait le vide sous le récipient de la machine pneumatique, alors la pression de l'air extérieur n'étant plus équilibrée par l'action contraire de celui qui reste sous le récipient, il en résultera une difficulté d'autant plus grande pour détacher ce récipient de la platine, que le vide approchera plus d'être parfait.

405. Il suit encore des principes établis précédemment, que si l'on prend à la surface de la terre une certaine quantité d'air dont le ressort fera parconséquent équilibre à une pression d'environ 76 centimètres de mercure, et qu'on introduise cet air dans un espace vide où il puisse se dilater, sa force de ressort, diminuée par la dilatation, sera à la force primitive, en raison inverse des volumes ou des espaces relatifs aux deux états successifs de ce fluide. Cette conséquence peut être vérifiée à l'aide d'une expérience intéressante, qui consiste à introduire dans un baromètre ordinaire une quantité d'air déterminée, en employant pour mesure un tube de même diamètre que celui du baromètre, et dont la hauteur soit connue. Cet air, parvenu au-dessus de la colonne de mercure, s'étendra par son ressort, dans le vide qui se trouve en cet endroit, et fera baisser le

mercure jusqu'à ce que sa force de ressort, jointe au poids de ce qui restera de mercure dans le tube, fasse équilibre à la pression de l'atmosphère. On pourra déterminer d'avance, par un calcul simple, la hauteur de l'espace dans lequel cet air doit se répandre, ou, ce qui revient au même, la hauteur à laquelle s'arrêtera la colonne de mercure. Par exemple, si le tube a 90 centimètres de hauteur, et qu'on y introduise $8^{cent.},25$ d'air, on trouve, en supposant que la pression de l'air atmosphérique à laquelle était d'abord soumis le mercure, fût de 76 centimètres, que ce liquide descendra à 57 centimètres au-dessus du niveau ; ensorte que l'espace occupé par l'air sera de 33 centimètres (1).

---

(1) Soit en général, h la hauteur du tube, à partir de la ligne de niveau, p la pression de l'atmosphère, n la quantité d'air, ou la partie de la hauteur du tube qu'occuperait ce fluide s'il conservait sa densité primitive, et soit x la hauteur à laquelle le mercure s'arrêtera après la dilatation de l'air ; $h-x$ sera la partie de la hauteur du tube dans laquelle l'air se répandra en se dilatant. Or les espaces occupés par l'air dans ses deux états, étant en raison inverse des densités, on aura $h-x : n :: p : \frac{np}{h-x}$, qui exprimera la densité ou la force de l'air dilaté. Mais cette dernière quantité, augmentée de x, qui exprime la hauteur et en même temps la force du mercure, doit faire équilibre à la pression de l'atmosphère. Donc $\frac{np}{h-x} + x = p$; d'où l'on tire $x^2 - (h+p)\,x = np - hp$, et $x = \frac{h+p}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{4np+(h-p)^2}$.

Si l'on fait $h = 90^{cent.}$, $p = 76^{cent.}$, $n = 8^{cent.},25$ comme ci-dessus, on trouve $x = 57$ et $x = 109$. La première valeur convient à la supposition présente, et elle donne $76 - 57$, ou 19 centimètres pour l'expression de la force de l'air dilaté. La seconde valeur est relative à un autre problème, dans lequel on supposerait un tube fermé par le bas, ouvert par le haut, et d'une hauteur égale à h. On supposerait de plus au fond du tube une colonne de mercure, dont la hauteur, ou ce qui revient au même, la pression, fût égale à p, puis au-dessus une colonne d'air qui, sous la pression de l'atmosphère, occuperait l'espace n, et enfin, au-dessus de cette dernière, une nouvelle colonne de mercure qui remplirait le reste du tube. On considérerait ce tube comme placé sous un récipient où l'on ferait le vide ; alors l'air renfermé dans le tube se dilaterait, en chassant une portion de la colonne de mercure qui peserait sur lui, jusqu'à ce que son ressort fît équilibre à ce qui resterait de la même colonne. Dans ce cas, la quantité x, qu'il s'agirait de déterminer, serait la distance entre le bas du tube et le bas de la colonne supérieure de mercure, après la dilatation de l'air.

Fontaine Intermittente.

406. Ce que nous venons de dire nous conduit à l'explication des effets produits par la fontaine à laquelle on a donné le nom d'*intermittente*, et dont voici la construction : ABC (*fig.* 38) est un globe de verre ou de toute autre matière, percé de plusieurs trous, auxquels sont adaptés de petits tubes *n*, *o*, *r*, *s*, et traversé dans le sens de son axe vertical par un tube CZ, dont la partie supérieure *i* s'élève jusqu'à une petite distance du sommet *o*, et dont la partie inférieure s'emboîte exactement dans un cylindre creux SD, fixé au fond d'une cuvette MT. Le bas de ce cylindre est échancré latéralement en *u*, ensorte qu'il y a une communication libre entre l'air renfermé dans le vase ABC et l'air extérieur. La cuvette MT est percée d'un petit trou, au moyen duquel elle communique avec un réservoir K placé en dessous. Lorsqu'on veut faire usage de cette fontaine, on retire le tube CZ du cylindre SD, puis on le renverse, et l'on s'en sert pour introduire de l'eau dans le vase ABC, jusqu'à ce qu'il soit plein. On retourne ensuite le tube, et on le fait rentrer dans le cylindre SD : à ce moment l'air extérieur qui a un passage libre par l'échancrure *u*, exerce sa pression sur la surface *ab* du liquide ; mais il agit avec une force sensiblement égale sur l'eau qui tend à sortir par les tubes *n*, *o*, *r*, *s*, ensorte qu'à cet égard l'eau est en équilibre entre les deux forces de l'air. Elle s'écoulera donc par les petits tubes, en vertu de son propre poids. A mesure que cette eau tombe dans la cuvette MT, il en sort une partie par le trou dont elle est percée ; mais comme elle reçoit plus qu'elle ne perd, il y a un terme où l'échancrure *u* se trouve obstruée, ensorte qu'il ne peut plus entrer d'air dans le vase ABC. Cependant l'eau continue de couler pendant un instant, tandis que l'air intérieur se dilate, jusqu'à ce que son ressort soit tellement affaibli, que ce qui lui en reste, joint au poids de l'eau, soit en équilibre avec la pression de l'air, à l'orifice des tubes *n*, *o*, *r*, *s* ; alors l'écoulement qui se fait par ces tubes s'arrête tout à coup. Mais la cuvette MT conti-

nuant de se vider, il arrive bientôt que l'échancrure *u* redevient libre, et que l'air s'introduit de nouveau dans le vase ABC, ensorte que les petits tubes recommencent à jeter de l'eau. La fontaine coule ainsi et tarit alternativement, jusqu'à ce que le vase qui fournit l'eau soit épuisé.

Des Pompes.

407. Nous nous sommes bornés à indiquer l'air en général, comme cause de l'élévation de l'eau dans les corps de pompe. Mais la manière dont la pression extérieure de ce fluide se combine avec une autre action, qu'il exerce à l'intérieur et qui dépend de son ressort, est susceptible de quelques détails d'autant plus propres à intéresser, qu'ils tendent à mieux faire connaître une des plus belles et des plus utiles productions de la mécanique.

Toutes les pompes peuvent se rapporter à trois espèces; savoir, la pompe *foulante*, la pompe *aspirante*, et celle qu'on nomme *foulante* et *aspirante*, parcequ'elle réunit les effets des deux premières.

408. La pompe foulante a son piston placé inférieurement au niveau de l'eau. Elle se construit de deux manières : dans l'une, la tige *t* (*fig.* 39) du piston P est située en dessous, et celui-ci est percé d'une ouverture verticale, dont l'orifice supérieur est garni d'une soupape *s* à charnière. Lorsqu'il est en repos, il occupe le fond du corps de pompe, dans l'intérieur duquel l'eau s'introduit d'elle-même, à travers le piston, dont elle soulève la soupape, par sa tendance à chercher le niveau. Vers l'endroit *m n* de ce niveau, le corps de pompe est garn pareillement d'une soupape *s'* à charnière, qui fait l'office d'un second fond mobile de bas en haut; cette soupape se nomme *dormante*. Tandis que le piston s'élève au moyen du mouvement communiqué à la tige, la soupape *s* demeure fermée, et l'eau dont il est chargé, monte avec lui jusqu'à la soupape dormante *s'*, qui est forcée de s'ouvrir pour donner un passage

à cette eau. La même soupape retombe ensuite par son poids, et empêche le liquide de sortir. Le piston va chercher, en descendant, une nouvelle charge d'eau, avec laquelle il remonte, pour la déposer au même endroit que la première; ensorte que l'eau peut être élevée ainsi à une hauteur arbitraire, pourvu que le moteur ait une force suffisante.

409. Les pompes de la seconde construction diffèrent de la précédente, par la position de la tige, qui est située au-dessus du piston, et de plus, en ce que le piston est plein, et repose sur une soupape qui garnit le fond de la pompe. Lorsque le piston s'élève, l'eau le suit, pour se mettre de niveau; pendant sa descente, il refoule cette eau dans un tuyau latéral, où elle s'ouvre un passage en soulevant une soupape, qui s'abaisse dès que le piston est arrivé au bas de sa course.

410. La pompe aspirante représentée (*fig.* 40), a son piston P élevé au-dessus du niveau *m n* de l'eau, à une hauteur qui doit être moindre que 32 pieds. Ce piston est percé et garni d'une soupape *s* en dessus. Le corps de pompe a une séparation formée par une autre soupape *s'*, à une certaine distance au-dessous du point *k*, où nous supposons que se termine inférieurement le jeu du piston. Quand celui-ci est en repos à ce même point, l'air intérieur, compris entre la soupape dormante *s'* et le niveau *m n* de l'eau, fait équilibre par son ressort à la pression de l'air extérieur. Quant à l'air renfermé dans l'espace *klzo*, au-dessus de la soupape dormante, et dont le ressort est sensiblement égal à celui de l'air inférieur, son effet se borne, pour le moment, à tenir cette soupape fermée. Lorsqu'ensuite le piston monte, l'air contenu dans l'espace *klzo* se dilate; celui qui est au-dessous de la soupape dormante la soulève par l'excès de son ressort, et une partie de cet air se répand dans l'espace *klzo*. En même temps l'eau s'élève jusqu'au terme où le ressort de l'air, affaibli par la dilatation, joint au poids de l'eau qui a dépassé le niveau, fait une somme égale à la pression de l'atmosphère. Ce terme ayant lieu au moment où le piston cesse de monter, la soupape dormante, qui se trouve entre deux airs également dilatés, se referme par son poids. Le piston,

piston, en descendant, resserre le volume de l'air compris entre sa base et la soupape dormante; et comme le volume de cet air excède le volume primitif d'une quantité égale à celle qui est entrée dans l'espace *klzo*, il est évident qu'il y a un point où il devient plus dense que dans son premier état; et alors il soulève, par son ressort, la soupape *s* placée au-dessus du piston, et une partie s'échappe au dehors, jusqu'à ce que le reste ait repris sa densité naturelle. A mesure que les deux mouvemens du piston se répètent, l'eau, continuant de monter, parvient jusqu'au piston, qui, en s'abaissant, la force de passer à travers son ouverture, pour l'élever ensuite avec lui; et ainsi successivement, jusqu'à ce qu'elle arrive à la hauteur desirée.

La construction de cette espèce de pompe exige des précautions, pour obvier à un inconvénient qui paraît d'abord singulier. C'est qu'il est possible que l'eau, avant de parvenir au piston, s'arrête tout à coup, et refuse de monter davantage, quoique le piston continue ses mouvemens. Pour concevoir cette possibilité, remarquons que le poids de l'eau, à partir du niveau, va toujours en augmentant à mesure qu'elle monte, tandis que la quantité d'air qui reste entre l'eau et la base du piston, et dont le ressort se déploie pendant que celui-ci s'élève, va au contraire en diminuant. Il en résulte que le rapport entre les deux forces qui réagissent ensemble contre la pression de l'atmosphère varie continuellement; et ainsi il peut se faire que la somme de ces forces devienne, à un certain terme, capable d'opposer à cette pression une plus grande résistance qu'auparavant. Supposons, par exemple, que l'eau soit arrivée en *hr*, et imaginons qu'elle y soit retenue par une puissance quelconque, tandis que le piston s'élève de *kl* en *fg*, qui est la limite de son mouvement. Si l'espace *hrgf* que celui-ci laissera vide est tel que le ressort de l'air, après sa dilatation, joint au poids de l'eau qui excède le niveau, fasse équilibre à la pression de l'atmosphère, il est aisé de voir que l'eau ne serait pas montée, dans le cas même où rien ne l'aurait retenue, puisque la condition requise pour l'équilibre est remplie par la seule dilatation de l'air.

Donc si la pompe est tellement construite qu'il y ait un point où l'hypothèse, que nous venons de faire, puisse être réalisée, l'eau restera stationnaire à ce point. Pour que l'hypothèse ne soit jamais admissible, et que la pompe fasse son service dans tous les cas, il faut qu'il y ait entre le jeu du piston et sa plus grande hauteur au-dessus du niveau, un certain rapport que l'on détermine facilement à l'aide du calcul (1).

411. L'eau s'élève dans la pompe aspirante et foulante, comme dans celle qu'on nomme simplement *aspirante*. Mais ici le piston est plein, et lorsque l'eau est parvenue jusqu'à sa base, il refoule cette eau en s'abaissant, et la force de passer dans un tuyau latéral, comme cela a lieu pour la seconde pompe foulante, dont nous avons parlé.

Cette pompe ne diffère de la précédente qu'en ce que l'eau, au lieu de passer à travers le piston pendant qu'il s'abaisse, est chassée dans un tuyau particulier ; ensorte qu'on a considéré cet effet du piston comme ayant quelque chose de plus marqué, et qui semble caractériser davantage l'action de fouler.

Du Siphon.

412. C'est encore à la pression de l'air que sont dûs les effets du siphon, qui sert à transvaser les liqueurs. On appelle ainsi un tube de verre recourbé, dont une des branches est plus longue que l'autre. On tient cet instrument, de manière que la partie recourbée tourne sa convexité vers le haut. On plonge la branche la plus courte dans le vase qui contient la liqueur ; on applique la bouche à l'orifice de la plus longue branche, et l'on suce la liqueur, c'est-à-dire, qu'on enfle la poitrine, de manière à produire une dilatation dans l'air qui occupe l'intérieur du siphon ; la liqueur s'introduit à l'instant

(1) La règle à laquelle conduit le calcul, est que le carré de la moitié de la plus grande hauteur du piston au-dessus du niveau de l'eau, ou de la distance entre *fg* et *mn*, doit être plus petit que trente-deux fois le jeu du piston, qui est mesuré par la distance entre *fg* et *kl*.

dans celui-ci, par la pression de l'air extérieur. Lorsque le siphon est plein, on retire la bouche, et la liqueur continue de s'écouler par la longue branche, jusqu'à ce que le vase soit vide.

On conçoit aisément la raison de cet effet, en considérant que l'air qui répond à l'orifice de la plus longue branche, presse de bas en haut, suivant la loi de tous les fluides, la colonne d'eau contenue dans cette branche, tandis que l'air, qui repose sur la surface du liquide renfermé dans le vase, agit par l'intermède de ce liquide pour presser dans le même sens la colonne qui occupe la branche la plus courte ; et il est clair qu'il n'a besoin de soutenir que la partie de cette colonne, qui s'élève au-dessus du niveau. Or la différence entre cette même partie et la colonne renfermée dans la branche la plus longue, donne à celle-ci un excès de poids qui n'est pas, à beaucoup près, balancé par l'excès de longueur de la colonne d'air qui répond à l'orifice de la même branche, et ainsi toute la partie de la liqueur, qui n'est pas soutenue par l'air, tombera ; et comme elle est sans cesse remplacée par celle qui vient du vase, l'écoulement ne finira qu'avec la liqueur elle-même.

413. On connaît depuis long-temps une multitude de faits que l'on attribuait à l'horreur de la nature pour le vide, et dont l'explication s'offre comme d'elle-même, d'après les détails dans lesquels nous sommes entrés sur la pesanteur et l'élasticité de l'air. Lorsqu'on essaye de tirer le piston d'une seringue dont on a bouché l'ouverture, on éprouve une forte résistance, comme s'il était attaché au fond par un certain pouvoir, tandis que c'est le poids de l'air qui, en pressant sa base supérieure, l'empêche de monter. Par la même raison, on écarte difficilement les panneaux d'un soufflet, dont on a fermé les ouïes et le tuyau. Lorsque l'on place entre les lèvres un tube dont la partie inférieure est plongée dans l'eau, et que l'on aspire l'air intérieur, pour déterminer l'ascension du liquide, la succion semble être une force qui agit par attraction, tandis qu'on ne fait autre chose que rendre prépondérante l'action de l'air extérieur pour faire monter l'eau dans

le tube. On pourrait citer beaucoup d'autres effets du même genre, dont les apparences sont comme des piéges tendus à l'imagination.

De la Mesure des Hauteurs par le Baromètre.

Après avoir montré combien la découverte de la pression que l'air exerce sur la surface des autres corps a contribué à perfectionner la théorie de ce fluide, il nous reste à faire connaître une application de cette découverte, qui a doublé les avantages du baromètre.

L'expérience de Torricelli avait donné cet instrument à la Physique, pour les observations journalières relatives à l'état de l'air. L'expérience de Pascal fit naître l'idée de le substituer, dans certaines circonstances, aux moyens géométriques pour la mesure des hauteurs.

414. La méthode la plus simple d'appliquer le baromètre à cet usage, est fondée sur une observation qui ne peut être regardée que comme un premier apperçu. Elle consiste à supposer qu'en général une ligne de diminution dans la colonne de mercure, répond à une différence de douze toises et demie en hauteur verticale. Ce résultat, traduit dans le langage des nouvelles mesures, donne 108 décimètres d'élévation pour chaque millimètre dont le mercure s'abaisse. Mais on a renoncé depuis long-temps à l'emploi de ce moyen, nécessairement très-imparfait, même avec la correction que l'on a tenté d'y faire, en ajoutant au résultat une quantité proportionnelle à l'abaissement du mercure.

Principe fondamental de l'Opération.

415. La loi suivant laquelle décroissent les densités de l'air, a fourni une autre méthode qui approche beaucoup plus de la précision, et qui s'étend à toutes les hauteurs auxquelles nous pouvons parvenir. En partant du principe donné par l'observation, que l'air se comprime en raison des poids dont il est

chargé, on prouve que quand les hauteurs sont en progression arithmétique, les densités correspondantes sont en progression géométrique; et il est visible que ces densités, à leur tour, sont en rapport avec les abaissemens du mercure dans le tube du baromètre.

416. On peut démontrer d'une manière fort simple cette relation entre les hauteurs et les densités de l'air qui leur correspondent. Soit *abzs* (*fig.* 41) une tranche d'air prise depuis la surface *ab* de la terre jusqu'à la limite *sz* de l'atmosphère. Divisons cette tranche en une infinité d'autres tranches d'une épaisseur infiniment petite, par des parallèles *dc*, *ef*, *gh*, etc., à la ligne *ab*, dont les distances respectives, *ad*, *de*, *eg*, etc., soient égales entre elles; il est évident que les densités de ces différentes tranches iront en diminuant depuis la ligne *ab*, et que de plus, elles seront successivement comme les poids des quantités d'air situées au-dessus de chacune d'elles, ensorte, par exemple, que la densité de la tranche *abcd*, sera à celle de la suivante *dcfe*, comme le poids de l'air contenu dans *dczs* est à celui de l'air contenu dans *efzs*.

Concevons maintenant une courbe *bpxs* tellement tracée que si l'air contenu dans chaque espace *abcd*, *dcfe*, etc., était réduit à n'occuper que l'espace correspondant *abnd*, *dnoe*, etc., pris dans l'intérieur de la courbe, le fluide se trouvât distribué uniformément dans l'espace total terminé par cette courbe. On conçoit comment cette hypothèse peut avoir lieu, puisque les densités primitives de l'air et les espaces *abnd*, *dnoe*, situés dans l'intérieur de la courbe, étant de part et d'autre en progression décroissante, on est le maître de choisir une courbe d'une telle nature, que les portions d'air qui passeront des espaces *bnc*, *ncfo*, etc., dans les espaces voisins *abnd*, *dnoe*, fassent croître les densités de l'air qui occupait d'abord ces derniers espaces, de manière que leurs différences deviennent nulles.

Cela posé, il est visible que les espaces *abnd*, *dnoe*, etc., étant d'autant plus petits que les densités primitives étaient elles-mêmes plus petites, leur rapport sera le même que celui

de ces densités ; de plus, les espaces *dns*, *eos*, etc., situés au-dessus des premiers, seront entre eux successivement comme les poids des quantités d'air qui compriment celui que renferment les espaces *abnd*, *dnoe*, etc. Et puisque l'air se condense en raison des poids dont il est chargé, il en résulte que les espaces *dns*, *eos*, etc., seront aussi proportionnels aux espaces *abnd*, *dnoe*, etc. Mais ceux-ci sont les différences entre les premiers, et il est démontré que quand des quantités sont entre elles comme leurs différences, ces quantités, et par-conséquent leurs différences, sont en progression géométrique (1); donc les espaces *abnd*, *dnoe*, *eopg*, etc., ou, ce qui revient au même, les densités de l'air qui répondent aux hauteurs *ad*, *ae*, *ag*, etc., suivent la loi d'une progression géométrique ; et puisque ces hauteurs sont évidemment en progression arithmétique, à cause de l'égalité des distances *ad*, *de*, *eg*, etc., nous en conclurons que quand les hauteurs forment une progression arithmétique, les densités correspondantes de l'air sont en progression géométrique.

Or les élévations du mercure dans le baromètre sont proportionnelles aux densités de l'air, qui répondent aux différentes hauteurs où ces élévations ont lieu. Donc, si d'une part on exprime ces densités par les nombres de lignes qui les mesurent, à partir de la ligne de niveau, et si d'une autre part on représente en toises les hauteurs auxquelles correspondent les élévations du mercure, on pourra considérer les nombres de toises comme les logarithmes des nombres de lignes.

Supposons, pour un instant, que l'on eût une table construite d'après ce système de logarithmes ; voici comment on

---

(1) Soit $abs = a$, $dns = b$, $eos = c$, $gps = d$, etc., nous aurons, par l'hypothèse, $b : a - b :: c : b - c :: d : c - d$, etc. Donc $ac - bc = b^2 - bc$, et $bd - cd = c^2 - cd$, d'où l'on tire $ac = b^2$ et $bd = c^2$. Donc $a : b :: b : c$, et $b : c :: c : d$, c'est-à-dire, que les quantités a, b, c, d, etc., sont en progression géométrique; d'où il suit que les différences $a - b$, $b - c$, $c - d$, etc., forment aussi une progression géométrique.

parviendrait à mesurer la hauteur d'une montagne. On prendrait les deux nombres de lignes que marquait le baromètre au point le plus bas et au point le plus haut ; on chercherait dans la colonne des logarithmes les nombres de toises correspondans, et la différence entre ces deux nombres donnerait la distance verticale entre les deux stations, ou la hauteur cherchée.

Méthode de Deluc.

417. Il a été facile aux physiciens de sentir que l'on pouvait se dispenser de construire la table dont nous venons de parler, et faire servir les logarithmes ordinaires à la détermination des hauteurs par le baromètre. Pour y parvenir, il ne s'agissait que d'avoir un facteur constant, dont la valeur fût telle que son produit, par les logarithmes de nos tables, donnât des mesures conformes à l'observation. Les premières déterminations de ce genre étaient fondées sur l'observation elle-même ; c'est-à-dire, qu'après avoir choisi parmi les résultats de diverses opérations trigonométriques ceux qui paraissaient mériter le plus de confiance, on cherchait la valeur du facteur qui devait être introduit dans le calcul relatif aux indications du baromètre, pour que les résultats de ce calcul s'accordassent avec ceux dont la trigonométrie avait fourni les données. Deluc, en suivant cette marche, a été conduit à une détermination d'une heureuse simplicité, en ce qu'elle ne laisse presque rien à faire, pour ramener aux nombres que ce savant regarde comme les véritables, ceux que donnent les tables ordinaires ; elle consiste en ce que les logarithmes de ces tables, pris avec sept décimales, n'ont besoin que d'être multipliés par 10000, pour représenter en toises les vrais logarithmes des nombres de lignes qui mesurent les observations correspondantes du baromètre. Ainsi, après avoir pris la différence entre les deux logarithmes tabulaires des nombres de lignes dont il s'agit, on reculera de quatre rangs, vers la droite, la virgule qui suit la caractéristique, et l'on aura la distance verticale entre les

deux stations, exprimée en toises et en parties décimales de la toise.

418. Mais ce résultat, et tous les autres du même genre, exigent plusieurs corrections, dont deux surtout ont fixé l'attention des physiciens. On sait que la température varie dans les différens points d'une même colonne d'air, de manière qu'en général les couches supérieures sont plus froides que les inférieures. Or les densités de l'air, qui répondent à des hauteurs verticales en progression arithmétique, ne sont censées être exactement en progression géométrique, qu'autant que la température de l'air est uniforme ; d'où l'on voit que dans le cas ordinaire où elle varie, il est nécessaire de corriger les hauteurs du baromètre. Mais d'une autre part l'inégalité de température influe immédiatement, par un effet thermométrique, sur la colonne même de mercure renfermée dans le baromètre, et y produit une augmentation ou une diminution de longueur, qui est étrangère aux indications de cet instrument, ce qui exige une nouvelle correction.

419. On a imaginé différens moyens de faire disparaître ces anomalies. En procédant par la méthode de Deluc, on supprime d'abord l'effet qui a pour cause l'influence immédiate de la température sur le baromètre, et l'on ramène les indications de cet instrument à ce qu'elles auraient été dans le cas d'une variation due à la seule pression de l'atmosphère. On cherche ensuite le nombre de toises qui donne l'élévation proposée, en partant des hauteurs corrigées du baromètre, puis on applique à ce même nombre la correction relative à l'action variable de la chaleur sur la colonne d'air renfermée entre les deux stations.

Pour déterminer la première correction, Deluc avait cherché, par l'observation, à quel degré de température la hauteur du baromètre n'exigerait aucune correction. Ce degré répondait au dixième au-dessus de zéro, sur le thermomètre en 80 parties. Deluc avait aussi déduit de l'expérience la quantité dont la variation de température alongeait ou raccourcissait la colonne de mercure du baromètre, par chaque degré du thermomètre. Cette quantité était de 0,^{lig}·075, en supposant que le baromètre

eût été d'abord à 27 pouces. Dans le cas d'une hauteur différente, une réduction donnait la quantité de la variation. Il était facile ensuite d'ajouter à la hauteur observée ce qui lui manquait, ou d'en retrancher ce qu'elle avait de trop, à proportion que la température différait de celle de 10 degrés, qui servait de terme fixe.

A l'égard de l'autre correction, Deluc avait cherché de même à quelle température il n'y aurait eu aucun changement à faire dans le nombre de toises donné par les logarithmes des hauteurs modifiées d'après la première correction. Cette température était de $16^{d.}\,\frac{3}{4}$ au-dessus de zéro. Le même savant avait ensuite supposé que la température variait, dans l'étendne d'une même colonne d'air, de manière à croître ou à décroître en progression arithmétique, et il résultait de ses expériences que l'air augmentait ou diminuait de $\frac{1}{215}$ de son volume, par chaque degré du thermomètre. En combinant ces données avec les observations de la température qui avait lieu dans les deux stations, on déterminait l'erreur, en plus ou en moins, du nombre de toises obtenu à l'aide des logarithmes.

Méthode de Laplace.

Plusieurs physiciens, et en particulier M. Trembley, ayant reconnu que la méthode de Deluc conduisait, en général, à des hauteurs trop faibles, ont cherché à la rectifier, en modifiant les données que ce savant avait adoptées pour la correction relative à l'effet de la température sur la colonne du baromètre. Mais toutes ces formules, accommodées aux résultats de quelques observations particulières, n'avaient qu'une exactitude, en quelque sorte, conditionnelle, et n'approchaient de la vérité que dans certaines circonstances analognes à celles qui avaient concouru avec les observations dont il s'agit.

420. Le célèbre Laplace a proposé une méthode dont le plan a été entièrement tracé par la théorie elle-même. Le coefficient constant par lequel on doit multiplier le nombre que donnent les logarithmes tabulaires (417), dépend ici du

rapport entre le poids d'un volume déterminé de mercure, et celui d'un volume égal d'air, à la température de la glace fondante, et à la hauteur moyenne du baromètre au niveau de la mer, laquelle est à très-peu-près de 76 centimètres (28 pouces). Les autres données du problème, puisées dans les lois auxquelles sont soumis l'air atmosphérique et le calorique disséminé dans cet air, se combinent avec le coefficient, de manière à diriger la solution vers le cas particulier que présente la position dans laquelle se trouve l'observateur.

Détermination du Coefficient constant.

A l'époque où cette méthode a paru, on n'avait pas encore d'expériences assez précises sur les densités du mercure et de l'air comparées entre elles, et le coefficient que l'on avait déduit de quelques-unes donnait des mesures qui étaient toujours au-dessous des véritables.

421. En attendant de nouvelles expériences qui fussent à-la-fois directes et concluantes, M. de Laplace invita le savant naturaliste Ramond à employer des observations barométriques, dont la justesse ne pût être révoquée en doute, pour obtenir un coefficient qui fût censé ne différer que par son origine de celui qu'aurait fourni le rapport entre les pesanteurs spécifiques de l'air et du mercure. Ramond trouva que, sur le 45e parallèle de la division nonagésimale, ce coefficient était égal à 18336 mètres.

422. Cependant, quoique tout concourût à faire regarder ce même coefficient comme suffisant pour la pratique, la théorie n'était pas satisfaite, et il était à desirer que la Physique, par une opération immédiate, le reproduisît avec un caractère assorti aux autres données renfermées dans la formule. Un travail important, entrepris plus récemment par MM. Biot et Arrago, sur les puissances réfractives des différens corps, a conduit ces deux savans à s'occuper d'une autre propriété qui influe sur la réfraction, savoir, la densité, et il est résulté de leurs recherches une détermination des pesanteurs spécifiques

de l'air et du mercure, prise avec toutes les attentions capables de la rendre définitive. Cette détermination donne $\frac{1}{10475,68}$ pour le rapport entre la densité de l'air et celle du mercure, à la température de la glace fondante, l'air étant soumis à une pression de 76 centimètres. Or le coefficient qui se conclut de ce rapport est égal à 18332 mètres, ensorte que le premier n'en diffère que de quatre unités; accord non moins remarquable que satisfaisant entre deux résultats, dont l'un exigeait une critique sûre, pour discerner au milieu des modifications variables de l'atmosphère, les circonstances propres à l'offrir dans toute sa pureté, et l'autre une manière d'opérer également adroite et précise, pour le dégager de toutes les causes d'anomalies qui se mêlent à ce genre d'expériences.

Corrections relatives à la Température.

423. L'hypothèse d'une température uniforme égale à zéro, exige de même ici deux corrections, pour être ramenée aux indications données par le thermomètre, pendant l'opération même. La première porte sur le coefficient constant. Pour mieux concevoir en quoi elle consiste, supposons que la température à la station la plus basse, soit, par exemple, de 16$^{d.}$ au-dessus de zéro du thermomètre centigrade, et qu'à la station la plus haute, elle soit de 4$^{d.}$ au-dessus de la même limite. La chaleur étant censée décroître en progression arithmétique, à mesure que la température s'abaisse, en allant d'une couche à l'autre, tel sera son effet sur l'air compris entre les deux stations, que les différences entre les densités actuelles des diverses couches de cet air, prises de bas en haut, et celles qui auraient lieu en vertu des seules pressions, suivront elles-mêmes une progression arithmétique.

On pourra donc considérer l'opération comme étant faite par une température uniforme de 10$^{d.}$, qui, étant la demi-somme des températures extrêmes, donne le terme moyen de la progression. Ainsi, l'effet sera le même que si la température

ayant été d'abord à zéro, s'était élevée subitement de 10$^{d.}$ dans toute la masse d'air renfermée entre les deux stations. Or, dans cette hypothèse, la dilatation subie par l'air aurait fait monter les différentes couches de ce fluide au-dessus de leur niveau ; d'où il suit que la portion de colonne atmosphérique comprise entre les deux stations serait devenue moins dense. Maintenant il est aisé de voir que c'est l'action de cette portion de colonne qui détermine la différence entre la pression exercée par l'air sur le mercure, à la station la plus haute, et celle qui a lieu à la station la plus basse, ensorte que quand cette action se trouve diminuée, comme dans le cas présent, par une suite de ce que l'air a perdu de sa densité, la quantité dont le baromètre est descendu, tandis qu'on le portait à la station la plus haute, est moindre que si l'air était plus dense. Cet instrument indique donc alors une élévation trop petite, et le calcul fait sans aucune correction, donnerait un résultat trop faible. Il faudra donc, pour compenser l'erreur, augmenter le coefficient constant d'une certaine quantité qu'il s'agit de déterminer.

Or on a observé que vers la température de la glace fondante l'air se dilate d'environ $\frac{1}{250}$ de son volume, par chaque degré du thermomètre centigrade. Donc, la quantité dont il faudra augmenter le coefficient constant est égale au produit de ce coefficient par $\frac{1}{250}$, et par le nombre de degrés que donne la température moyenne. Mais celle-ci étant la demi-somme des températures observées aux deux stations, on voit que l'opération se réduit à multiplier la somme entière par 36$^{mèt.}$,672, qui est le produit du coefficient 18336$^{mèt.}$ par $\frac{1}{2.250}$ ou par $\frac{1}{500}$ (1).

424. La seconde correction dépend de l'effet thermométrique de la chaleur par rapport au mercure du baromètre;

(1) L'effet total qui détermine la correction étant la somme des termes de la progression, relativement aux quantités dont les densités de l'air sont altérées par la chaleur, on a cette somme en prenant le moyen terme, qui est le produit de la température moyenne par le rapport $\frac{1}{250}$ de dilatation pour un degré, et en le multipliant par le coefficient constant, qui représente le nombre des termes.

sur quoi nous observerons que la température de ce métal liquide diffère ordinairement de celle de l'air environnant. C'est pour cela que les physiciens qui veulent mettre de la précision dans leurs résultats, déterminent la température dont il s'agit, au moyen d'un thermomètre tellement adapté à la monture du baromètre, que la chaleur et le froid puissent influer de la même manière sur l'un et l'autre instrument. Ramond désigne ce thermomètre sous le nom de *Thermomètre du baromètre*, et il appelle *Thermomètre libre*, celui qui est destiné à indiquer la température de l'air.

Maintenant on sait que le mercure se dilate de $\frac{1}{5412}$ de son volume, pour chaque degré du thermomètre centigrade. Il en résulte que, si l'on part de la température qui avait lieu à la station la plus froide, l'effet thermométrique dont il s'agit sera mesuré par la 5412ᵉ partie de la longueur qu'avait la colonne de mercure à la même station, prise autant de fois qu'il y a de degrés dans la différence entre les deux températures indiquées par le thermomètre du baromètre. En ajoutant le produit au nombre de centimètres que donnait le baromètre à la station la plus froide, on ramènera l'opération à ce qu'elle eût été, si la colonne de mercure avait conservé constamment sa densité, en partant de la station la plus chaude.

Application à un cas particulier.

425. Nous parlerons bientôt d'une autre variation qui est due à la pesanteur, et dont il est nécessaire de tenir compte, lorsqu'on veut parvenir à une grande précision. Mais comme la méthode que nous venons de développer suffit pour les usages ordinaires, nous en ferons d'abord l'application à une mesure particulière, d'après une opération exécutée par Ramond sur le pic du midi de Bigorre.

Le baromètre placé à la cime du pic marquait $53^{centim.},7203$; le thermomètre du baromètre était à $9^{d.},75$, et le thermomètre libre à $4^{d.}$ En même temps le baromètre placé à Tarbes, où M. Dango faisait des observations correspondantes, marquait

$73^{\text{cent.}},5581$; le thermomètre du baromètre était à $18^{\text{d.}},625$, et le thermomètre libre à $19^{\text{d.}},125$.

Pour avoir la quantité dont le coefficient constant doit être augmenté, on multipliera la somme 23,125 des deux températures 4 et 19,125, par $36^{\text{mèt.}},672$, et l'on ajoutera le produit 848,04 au coefficient constant, ce qui donnera pour le véritable coefficient, dans la circonstance actuelle, 19184,04.

Pour corriger ensuite la hauteur du baromètre, à la station la plus froide, ou celle du pic du midi, d'après la variation de la température, on prendra la différence 8,875, entre les deux températures indiquées par les thermomètres attachés aux baromètres, on la multipliera par la hauteur $53^{\text{cent.}},7203$ du baromètre, à la station la plus froide, et on divisera le produit par 5412, ce qui donnera $0^{\text{cent.}},0881$ à ajouter à $53^{\text{cent.}},7203$. Ainsi la hauteur corrigée sera $53^{\text{cent.}},8084$ (1).

Maintenant la différence entre le logarithme 1,8666305 de 73,5581 et le logarithme 1,7308500 de 53,8084 est 0,1357805, laquelle multipliée par le coefficient corrigé 19184,04, donne pour la distance verticale entre les deux stations, $2604^{\text{mèt.}},819$ (2).

Corrections relatives à la Pesanteur.

426. On sait que l'action de la pesanteur sur les corps placés à la surface de la terre, diminue à mesure qu'on approche de

(1) Nous donnons ici ces calculs en nombres ordinaires; mais on sait combien l'usage des tables de logarithmes abrège les opérations de ce genre.

(2) Soit h la hauteur du baromètre à la station la plus basse, h' celle qui étant relative à la station la plus élevée, que l'on suppose en même temps la plus froide, a été corrigée de l'effet de la température, T la hauteur du thermomètre libre, à la station la plus chaude, t celle qui a lieu à la station la plus froide, T' et t' les hauteurs qui répondent aux précédentes sur le thermomètre du baromètre, et r la différence d'élévation entre les deux stations; toutes ces quantités étant exprimées en mètres et en fractions du mètre, la règle dont nous venons de faire une application, sera représentée par cette formule, $r = 18336^{\text{mèt.}} \left(1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right) \text{Log.} \left(\frac{h}{h'\left(1 + \frac{T'-t'}{5412}\right)} \right)$.

l'équateur, ou, ce qui revient au même, à mesure que la latitude est plus petite ; et de plus, elle décroît à mesure que du niveau de la mer, qui est le terme auquel se rapporte l'opération, on s'élève dans les régions supérieures.

427. Pour corriger la variation qui a lieu dans le sens de la latitude, on part du parallèle moyen, auquel le coefficient constant $18336^{mét.}$ est censé correspondre, ainsi que nous l'avons dit, et suivant que l'opération se fait en deçà ou au-delà de ce degré moyen, on ajoute à la hauteur déduite, ou bien on en retranche, le produit de cette hauteur par les 2845 millionièmes du cosinus du double de la latitude, le rayon ayant l'unité pour expression. Ainsi le pic du midi étant situé au 43e degré, le cosinus dont il s'agit est celui de 86^{d}; et si l'on en prend les 2845 millionièmes, et qu'on multiplie le résultat par la hauteur déduite $2604^{mét.},819$, on trouvera $0^{mét.},517$ qu'il faut ajouter à cette hauteur, ce qui donne $2605^{mét.},336$.

428. Enfin, pour avoir égard à la diminution de la pesanteur dans le sens vertical, on ajoutera à la hauteur déjà corrigée de l'effet de la latitude, le produit du coefficient corrigé, par la différence des logarithmes qui correspondent aux deux hauteurs du baromètre, augmentée du nombre 0,868589 et divisée par le nombre 6366198, qui représente, en mètres, le rayon du globe terrestre. Dans l'exemple que nous avons choisi, la différence des logarithmes est 0,1357805, lequel nombre ajouté à 0,868589 donne 1,0043695 ; le coefficient corrigé est 19184,04, et la hauteur corrigée de l'effet de la latitude est $2605^{mét.},336$; ainsi la valeur de la quantité cherchée sera $\frac{1,0043695 \times 19184,04}{6366198} \times 2605^{mét.},336$, ou $7^{mét.},885$, qui étant ajoutés à 2605,336 donnent $2613^{mét.},221$, pour la hauteur du pic du midi (1). Or la même hauteur, déterminée par Ramond,

(1) M. de Laplace a donné dans le quatrième volume de sa Mécanique Céleste, p. 293, la formule suivante, qui représente toutes les opérations de ce genre. Soit r la différence d'élévation entre les deux stations, Ψ la latitude du lieu t et t' les températures indiquées par les deux thermomètres libres,

à l'aide d'un nivellement fait avec un soin extrême, est de $2613^{mèt.},137$, et ainsi la mesure barométrique ne diffère pas d'un décimètre en plus, de celle qu'avait donnée l'opération géodésique. En négligeant les corrections relatives à la pesanteur, nous avons eu le résultat, $2604^{mèt.},819$, plus faible d'environ 8 mètres que le véritable.

429. Nous ne devons pas omettre qu'une condition nécessaire pour approcher le plus près qu'il est possible de la précision, est d'opérer au milieu d'un air exempt d'agitation, parceque les courans de ce fluide, suivant que leur obliquité a lieu du bas vers le haut, ou en sens contraire, diminuent ou augmentent la pression que l'atmosphère exerce sur le mercure du baromètre : il en résulte que la colonne de ce liquide subit tantôt un excès d'abaissement qui donne des hauteurs trop grandes, tantôt une diminution d'abaissement qui donne des hauteurs trop petites. Ramond regarde, pour cette raison, l'heure du midi, comme étant, en général, l'instant le plus favorable aux observations barométriques, parceque c'est ordinairement vers le milieu du jour que l'équilibre de l'atmosphère, altéré par les vents du matin, se trouve rétabli (1).

---

h la hauteur du baromètre à la station la plus chaude, h' sa hauteur à la station la plus froide, corrigée de l'effet de la température, et a le rayon du globe terrestre, on aura

$$r = 18336^{mèt.} (1 + 0{,}002845.\ \text{Cos.}\ 2\Psi) \left(1 + \frac{2(t + t')}{1000}\right) \left[\left(1 + \frac{r}{a}\right) \log. \frac{h}{h'} + \frac{r}{a}.\ 0{,}868589\right].$$

M. de Laplace avertit que pour appliquer cette formule, il suffit de substituer à r dans le second membre de l'équation, sa valeur donnée par la supposition de $r = 0$, dans le premier membre.

(1) Voyez un Mémoire très-intéressant de ce célèbre naturaliste, sur l'objet dont il s'agit, dans le sixième volume des Mémoires de l'Institut, p. 435 et suiv. On y trouve aussi des méthodes pour accélérer et simplifier les calculs, sans s'écarter sensiblement de l'exactitude.

Utilité

Utilité des Observations Barométriques pour la Géographie-Physique.

430. Le savant auteur de la méthode que nous venons d'exposer a conçu l'idée heureuse de faire concourir les observations du baromètre avec les mesures géographiques, pour déterminer, d'une manière plus fixe, la position des différens lieux. Cette position, telle que l'offrent les mesures dont nous venons de parler, dépend de l'intersection de deux coordonnées perpendiculaires entre elles, dont l'une est la distance au premier méridien, ou la longitude, et l'autre la distance à l'équateur, ou la latitude. On supposerait une troisième co-ordonnée perpendiculaire anx deux précédentes, qui mesurerait la distance verticale entre le même point d'intersection et le niveau de la mer. On prendrait, pour la France, ce niveau à Brest, où la hauteur moyenne du baromètre est à-peu-près de 76 centimètres. On ferait dans chaque lieu un grand nombre d'observations barométriques, pendant un an ou deux, et la moyenne entre toutes ces observations donnerait l'élévation du lieu proposé au-dessus du niveau de la mer. On pourrait choisir, dans chaque pays, pour le niveau auquel se rapporteraient les observations, la hauteur moyenne de la rivière la plus voisine. Un pareil travail, exécuté par des observateurs exercés, et avec des baromètres bien construits, offrirait des résultats intéressans pour la topographie des divers pays.

2. Des différentes Modifications dont l'Atmosphère est susceptible.

L'atmosphère, lors même qu'elle jouit d'une belle transparence, et nous montre sa concavité sous l'aspect d'une voûte colorée en azur, est un vaste réservoir d'eaux raréfiées, que la force du calorique tient comme enchaînées dans les pores

de l'air. Les molécules de ces eaux que leur extrême ténuité dérobe à nos regards, n'attendent que des circonstances plus ou moins prochaines pour se réunir et devenir visibles, soit qu'elles conservent une légéreté qui leur permette de rester suspendues au milieu de l'air, soit qu'elles acquèrent assez de densité pour être en prise à la pesanteur qui détermine leur retour vers la terre. A ces changemens que subit l'état de l'air, par le dégagement des molécules aqueuses qu'il tenait cachées dans ses interstices, se joignent ceux que lui font éprouver les agitations occasionnées par la rupture de son équilibre. De là ces nombreuses modifications, qui ramènent chaque année dans l'atmosphère, pendant le cours des saisons, une scène également diversifiée par la succession des phénomènes qu'un même lieu voit naître, et par les contrastes que présentent ceux qui se manifestent à-la-fois dans des lieux différens. C'est la considération de ces phénomènes qui va maintenant nous occuper : mais parceque nous ne sommes pas encore assez éclairés sur leur véritable théorie, nous nous bornerons souvent à les décrire, sans entreprendre d'en donner une explication qui serait prématurée.

Des Vents.

431. Les changemens qui interviennent dans la pesanteur spécifique et dans le ressort de l'air, par des causes qui agissent inégalement sur ses différentes parties, donnent naissance aux vents, en déplaçant une portion de ce fluide, et en lui communiquant un mouvement progressif. On a désigné les vents avec beaucoup de justesse, en les appelant *des courans d'air.*

432. L'intensité de la force du vent varie entre des limites très-étendues, depuis l'agitation légère qui produit le zéphir, jusqu'au mouvement impétueux d'où résultent les ouragans. M. Kraaf, qui a fait, à Pétersbourg, des observations sur la vitesse du vent, dit l'avoir trouvée une fois de 109 pieds (35$^{mèt.}$,4), et une autre fois de 129 pieds (39$^{mèt.}$) par seconde (1).

(1) Encyclopédie Méthod., Marine, t. III, Deuxième Partie, p. 813.

Diversité des Vents.

433. Les vents suivent une infinité de directions différentes, les unes obliques, les autres parallèles à l'horizon. Mais dans l'estimation ordinaire de la direction du vent, on se borne à considérer le point de l'horizon d'où il est censé partir, pour arriver à l'observateur, qui se regarde comme étant au-dessus du centre de ce cercle; et l'on suppose la circonférence du même cercle divisée en 32 parties égales par seize diamètres, ce qui donne, en allant de la circonférence au centre, 32 directions, que l'on a nommées *airs* ou *rumbs* de vents, et dont l'ensemble forme ce que l'on appelle la *rose des vents*. Voyez la *figure* 42.

L'un des diamètres, qui coïncide avec le méridien du lieu où se trouve l'observateur, indique le Nord par une de ses extrémités, et le Sud par l'extrémité opposée. Le diamètre qui coupe le précédent à angle droit, indique l'Est d'un côté, et l'Ouest de l'autre. Ces quatre points se nomment en général *points cardinaux*.

Les noms des points intermédiaires entre les points cardinaux, participent de ceux de ces mêmes points, combinés deux à deux, trois à trois, sans addition, ou trois à trois, avec interposition de la fraction $\frac{1}{4}$, à mesure que les points correspondans sôudivisent, en parties toujours plus petites, l'espace compris entre deux points cardinaux voisins. Cette nomenclature est fondée sur les principes suivans : 1°. dans les combinaisons binaires, comme Nord-Est, Sud-Est, etc., le nom de *Nord* ou celui de *Sud* tient toujours la première place. 2°. Chaque combinaison ternaire, sans addition, telle que Nord-Nord-Est, Est-Nord-Est, etc., est donnée par le nom du point cardinal le plns voisin, suivi de la combinaison binaire la plus voisine. 3°. A l'égard des combinaisons ternaires avec addition de la fraction $\frac{1}{4}$, il y a une distinction à faire. Si le point auquel répond la combinaison est voisin d'un point cardinal, la combinaison se forme du nom de ce point, et ensuite

de la fraction $\frac{1}{4}$, à laquelle on ajoute le nom de la combinaison binaire la plus voisine. Ainsi, Nord quart de Nord-Est, signifie que le point indiqué par cette combinaison est voisin du Nord, et que sa distance à ce même point est le quart de celle qui le sépare du Nord-Est. Si au contraire le point auquel appartient la combinaison est voisin d'un autre point qui réponde à une combinaison binaire, ce qui est le cas du point Nord-Est quart de Nord, la combinaison se forme du nom de cette même combinaison binaire, et de la fraction $\frac{1}{4}$, avec le nom du point cardinal le plus voisin; d'où l'on voit que ce mode de combinaison est l'inverse du précédent. Parmi les directions variables à l'infini des différens vents, on a choisi les trente-deux dont nous venons de parler, comme des espèces de limites auxquelles on rapporte toutes les autres.

434. Les vents, considérés relativement à leur durée, à leurs retours et autres circonstances semblables, se divisent en vents généraux, vents périodiques et vents irréguliers.

Les vents généraux, ou ceux dont l'action est continue et suit une direction constante, règnent entre les deux tropiques, et rarement au-delà.

Les vents périodiques, que l'on a nommés aussi *vents alisés* et *moussons*, soufflent constamment pendant plusieurs mois, et sont ordinairement suivis de vents contraires d'une égale durée.

Les vents irréguliers sont ceux qui soufflent de différens côtés dans un même pays, sans observer aucune époque ni aucune durée déterminée : ce sont les plus ordinaires dans les climats tempérés. Il arrive assez communément que deux ou trois de ces vents soufflent en même temps, l'un au-dessus de l'autre, dans des directions différentes (1); et quelquefois on éprouve un vent violent sur une montagne au pied de laquelle l'air est tranquille, ou c'est le cas contraire qui a lieu (2).

---

(1) Musschenbroeck, Essai de Physique; Leyde, 1751, t. II, p. 879.

(2) Deluc, Recherches sur les Modific. de l'Atmosphère, n° 730.

Explication du Vent d'Est.

435. Parmi les vents généraux dont nous avons parlé, il en est un qui souffle continuellement dans la zone torride, et qui est connu sous le nom de *Vent-d'Est*. Quelques auteurs avaient cru en trouver la cause dans l'attraction que le soleil et la lune exercent sur l'atmosphère ; mais il est prouvé que cette attraction ne peut produire dans l'air que de simples oscillations analogues à celles du flux et reflux, et très-légères, au lieu d'un mouvement sensible et uniforme dans sa direction.

436. L'opinion la plus commune est que le vent d'Est provient de la dilatation de l'air raréfié par l'action du soleil. Mais pour mieux faire concevoir l'influence de cette action sur le phénomène dont il s'agit, nous commencerons par examiner, en général, l'effet qui résulte de l'agitation produite par le calorique dans une masse d'air qui s'échauffe continuellement, sans être coërcée. Il est facile de voir que, dans cette hypothèse, la pesanteur spécifique de l'air dont il s'agit doit diminuer, par une suite de la dilatation ; ensorte que s'il est environné d'un air plus froid, il s'élevera, et sera aussitôt remplacé par une portion de l'air ambiant ; et comme nous supposons que la chaleur continue d'agir dans le même espace, il s'établira une espèce de circulation, en vertu de laquelle un air plus dense prendra continuellement la place d'un air raréfié.

437. L'action qu'exerce la chaleur sur l'air des appartemens à cheminée, nous fournit un exemple familier de ce phénomène. Les molécules de cet air, répandues autour du brasier, devenant respectivement plus légères par la raréfaction, une partie s'élève dans le tuyau de la cheminée, et l'autre va gagner le haut de l'appartement ; en même temps un nouvel air arrive par le bas, pour remplacer l'air ascendant, et il en résulte une succession non interrompue de deux courans contraires ; l'un supérieur, qui s'éloigne de la cheminée, l'autre inférieur, qui se porte vers elle. Les vîtesses de ces deux courans diminuent à mesure que les couches d'air se rapprochent d'une certaine

hauteur moyenne où ce fluide est stationnaire. On peut observer les effets de ce double courant, en ouvrant la porte de l'appartement, et en plaçant tour à tour la flamme d'une bougie vers le bas et vers le haut de l'ouverture ; on verra la flamme s'incliner d'abord en dedans, puis en dehors, et à une certaine hauteur intermédiaire, elle restera immobile.

438. La succession perpétuelle de ces deux airs, tant que la chaleur est entretenue, a fourni le principe sur lequel est fondée l'explication la plus naturelle que l'on ait donnée du vent d'Est. Le soleil, que nous supposons dans le plan de l'équateur, échauffe et raréfie très-sensiblement la partie de l'atmosphère qu'il domine. Cet air raréfié s'élève au-dessus du niveau, et, d'après la tendance qu'ont tous les fluides à reprendre leur niveau, il se répand sur les colonnes situées vers les pôles, tandis qu'un air frais, parti de ces mêmes colonnes, afflue en dessous vers l'équateur, pour remplir l'espèce de vide produit par la dilatation. Il se formera donc, dans chaque hémisphère boréal ou austral, deux courans, l'un supérieur, qui va de l'équateur vers le pôle, l'autre inférieur, qui vient du pôle à l'équateur. Les molécules de ces courans sont sollicitées à-la-fois par deux forces, dont l'une agit dans la direction même du courant, et l'autre provient du mouvement de rotation de l'atmosphère ; et il est clair que la vîtesse produite par ce second mouvement était originairement d'autant plus petite dans chaque molécule, que le parallèle dont celle-ci est partie se trouvait plus éloigné de l'équateur.

Maintenant, si nous considérons une molécule prise dans le courant inférieur, dont la direction tend vers l'équateur, il sera aisé de concevoir que cette molécule arrive à chacun des parallèles situés sur son trajet, avec une vîtesse angulaire (1), moindre que celle du point correspondant pris à la surface de la terre. Les objets terrestres qui se présentent au passage du

(1) On appelle ainsi la vîtesse d'un corps qui se meut circulairement autour d'un point. Quand la rotation est uniforme, la vîtesse est proportionnelle à l'angle que mesure l'arc décrit par ce corps dans un temps donné.

courant inférieur, doivent donc le frapper avec l'excès de leur vîtesse; il en sera de même d'un spectateur qui, se croyant immobile, et rapportant l'excès de sa propre vîtesse, en sens opposé, au courant qu'il rencontre, recevra l'impression d'un vent qui lui paraîtra venir de l'Est, puisque le mouvement de rotation est dirigé de l'Ouest vers l'Est.

Ce sera le contraire par rapport au courant supérieur qui va vers le pôle. Chacune de ses molécules, ayant plus de vîtesse que le point de la terre au-dessus duquel elle arrive, devancera ce même point en allant vers l'Est, et il doit résulter de cette supériorité de vîtesse un vent d'Ouest réel, au lieu que le vent inférieur est une simple apparence, mais qui produit une illusion complète.

Utilité des Vents.

439. Les accidens qu'occasionne quelquefois la violence des vents, sont compensés bien au-delà par les avantages que nous procurent ces courans d'air. Ce sont eux qui, dans les grandes villes, font succéder un air sain à un air vicié par des émanations nuisibles. Ils transportent les nuages destinés à répandre sur la terre les pluies qui la fertilisent; ils sont les véhicules d'une multitude de graines qui, pourvues d'ailes ou d'aigrettes, voltigent de toutes parts pendant l'automne, et entretiennent entre les différens sols une circulation de richesses végétales.

440. L'industrie humaine a trouvé dans la force des vents un puissant moteur, dont l'impulsion sur les voiles des navires dirige ces édifices flottans vers les lieux où la nature abonde en productions intéressantes pour le commerce, ou utiles aux progrès de l'histoire naturelle. Avant l'invention de nos moulins, que de bras et d'efforts étaient employés à moudre le grain dont nous tirons notre plus solide nourriture! L'action du vent y supplée, en s'exerçant sur quatre ailes qui font l'office de léviers, et dont les surfaces, inclinées deux à deux en sens contraire, reçoivent, à l'aide de cette ingénieuse dispo-

sition, des mouvemens qui conspirent pour déterminer la rotation de l'axe sur lequel sont fixées les ailes (1).

Des Météores aqueux.

441. On a donné le nom de météores à tous les corps qui, suspendus ou en mouvement dans l'atmosphère, y deviennent les agens de quelque phénomène. Il ne s'agit ici que de ceux qui doivent leur origine à l'eau. C'est surtout l'étude de ces derniers qui est l'objet de cette branche de nos connaissances, que l'on a appelée *Météorologie*, et que l'on a étendue à l'observation des vents, dont l'existence a une si grande analogie avec celle des météores.

---

(1) Soit AB (*fig.* 43) la projection de la surface antérieure du moulin, *mn* celle de l'une des ailes que nous supposons être parvenue au plus haut point de sa rotation, *m'n'* celle de l'aile opposée à la précédente, et qui, dans le même cas, se trouve au point le plus bas de sa rotation; soit de plus *fg* la direction du vent à laquelle la surface AB, dont on peut faire varier à volonté la position, est toujours perpendiculaire. La force du vent, qui agit obliquement sur l'aile *mn*, suivant *or*, se décompose en deux autres forces, dont l'une, représentée par *os*, et parallèle à *mn*, est nulle pour l'effet; et l'autre, représentée par *ot*, et perpendiculaire à *mn*, pousse l'aile de gauche à droite, ou en allant de A vers B. En faisant le même raisonnement par rapport à l'aile inférieure *m'n'*, on en conclura que la force *o't'*, qui fait la même fonction que *ot*, agit pour faire tourner l'aile *m'n'* de droite à gauche, ou en allant de B vers A. Or cette action concourt avec celle qui s'exerce sur l'aile supérieure, pour produire un même mouvement de rotation; au lieu que si l'aile inférieure était disposée sur le même plan que celle d'en haut, les deux mouvemens se détruiraient. Ce que nous disons ici des actions relatives à la position la plus élevée ou la plus basse des ailes, s'applique également à toutes les autres positions.

Il est facile de voir que les ailes resteraient encore immobiles, si *mn* et *m'n'* étant parallèles à AB, recevaient directement l'impulsion du vent, ou si, étant perpendiculaires sur AB, elles avaient la même direction que le vent. Il y a donc, entre ces deux limites, une position oblique sous laquelle la force du vent est un *maximum*, et le calcul démontre que le *maximum* a lieu lorsque l'angle *orn* que fait la direction du vent avec la surface de l'aile, est de 54^{d} 44' 8".

De l'Atmosphère considérée relativement à l'Evaporation.

Nous avons déjà exposé (195) l'hypothèse qui nous paraît expliquer de la manière la plus plausible le mécanisme à l'aide duquel l'eau, en se séparant d'elle-même, dans tous les points situés à sa surface, se transforme en une vapeur qui se répand dans l'air environnant, où elle est maintenue par l'action répulsive que cet air exerce sur elle. Nous allons maintenant faire connaître certaines circonstances particulières, relatives à l'évaporation, et dont la considération aidera à mieux concevoir ce que nous dirons ensuite des météores aqueux.

442. L'évaporation est d'autant plus abondante, toutes choses égales d'ailleurs, que l'eau, en se présentant à l'air par une plus grande surface, multiplie davantage ses communications avec ce fluide. On profite, dans certains pays, de cette observation, pour extraire plus promptement le sel marin de l'eau qui le tient en dissolution. On fait d'abord tomber cette eau sur des fagots d'épines, où elle se divise en une pluie très-fine, qui, offrant à l'air qu'elle traverse un grand nombre de points à découvert, s'évapore en grande partie, de manière que celle qui arrive au fond se trouve très-chargée de sel. Cette eau est ensuite portée dans de grandes chaudières qu'on expose à l'action du feu pour achever l'évaporation.

443. Les parties situées à la surface de l'eau étant les seules qui soient soumises à l'évaporation, la quantité de celle-ci, dans des vases pleins dont les orifices sont inégaux, est proportionnelle à la grandeur de ces orifices, pourvu que la chaleur et les autres circonstances soient les mêmes, relativement à tous les vases. Musschenbroeck a trouvé, il est vrai, qu'à surfaces égales, l'eau renfermée dans un vase plus profond s'évaporait plus promptement que dans un vase qui avait moins de profondeur (1). Mais cette différence provenait vraisembla-

(1) Additions aux Mémoires de l'Acad. *del Cimento*, t. II, p. 6.

blement de ce que parmi les variations que subissait la température de l'air environnant, celles qui tendaient à la faire baisser étaient les plus fréquentes. Il en résultait que l'ean renfermée dans le vase le plus profond, étant composée d'un plus grand nombre de couches depuis le fond jusqu'à la surface, suivait plns lentement les variations de la température, et par là perdait moins promptement la chalenr qu'elle avait une fois acquise, et dont la présence accélérait l'évaporation (1). Aussi la différence dont il s'agit n'est-elle sensible qu'en plein air, et l'on a observé qu'elle était nulle dans des appartemens où la températnre n'éprouvait que de légères variations.

444. On a remarqué depuis long-temps, que les vents, surtout lorsqn'ils sont secs, favorisent et accélèrent l'évaporation. D'après la théorie de Leroi, cet effet proviendrait en grande partie de ce que l'air, renouvelant sans cesse ses points de contact avec l'eau, agirait sur ce liquide par une affinité toujours renaissante. Mais dans l'hypothèse beaucoup plus admissible où l'évaporation est due à l'élasticité du calorique, on conçoit encore mieux qu'un liquide doive s'évaporer plus rapidement par l'intermède d'un air agité, soit parceque ce fluide offre continuellement à la vapeur un accès libre dans de nouveaux interstices; soit parceque le progrès de l'évaporation est encore favorisé par l'agitation que le mouvement de l'air excite dans les molécules mêmes du liquide.

On peut produire un effet analogue, dans un appartement, à l'aide d'une de ces expériences qui appartiennent à la Physique de tous les momens. Il suffit de mouiller un doigt de chaque main, par exemple le doigt index, et de se promener ensuite dans l'appartement, en faisant aller et revenir rapidement un des doigt mouillés, et en maintenant l'autre dans la même position. Bientôt le liquide aura disparu sur la surface du premier, tandis que le second restera humecté.

445. L'eau est encore susceptible d'évaporation, même

(1) Novi Commentar. Petrop., t. II, p. 134.

après qu'elle a passé à l'état de solidité. Cet effet a lieu d'une manière très-sensible à l'égard de la neige ; et l'on voit, par un temps sec et froid, les glaçons qui s'étaient formés dans les ornières des grands chemins diminuer peu à peu, et finir par disparaître. Mais la glace s'évapore avec plus de lenteur, à mesure qu'elle est plus froide, et il est extrêmement probable qu'il y a un terme où les molécules situées à la surface de l'eau congelée cesseraient d'obéir à la tendance du calorique pour les entraîner sons la forme de vapeur. Quant à ce qu'ont observé Musschenbroeck et Wallerius que l'évaporation de l'eau augmente, pendant que ce liquide se congèle, ce n'est qu'un effet instantané, dû à l'accroissement de chaleur produit par celle que développe l'acte même de la congélation.

Effet de la présence de l'Air sur la quantité de Vapeur répandue dans un espace donné.

446. Nous avons vu que la pression de l'air oppose à l'évaporation un obstacle qui en retarde le progrès (195). Quelques physiciens en avaient conclu que cet obstacle influait sur la quantité même de vapeur qui se développait dans l'atmosphère, ensorte que si cette dernière n'existait pas, il y aurait, à égalité de température, et au terme de la saturation, plus de vapeur répandue dans un espace pris depuis la surface de la terre jusqu'à une hauteur donnée. Il est aisé de prouver que, dans cette hypothèse, la quantité de vapeur qu'admettrait l'espace dont il s'agit serait au contraire plus petite qu'elle ne l'eût été au sein de l'atmosphère.

Ponr concevoir cette différence, raisonnons d'abord d'après cette même hypothèse où il n'y anrait point d'atmosphère, et imaginons que les eaux qui baignent la terre étant à 15$^{d.}$ de Réaumur, elles aient fourni toute la quantité de vapeur qui peut se développer à cette température. S'il y avait quelque part au-dessus de la surface de l'eau un vase dans lequel la portion de vapeur qui se formerait à cet endroit s'introduisît

de manière à ne pouvoir s'échapper, la force élastique de cette vapeur serait capable de supporter une pression de $13^{millim.},5$ ou 6 lignes de mercure (263). Il suit de là que telle serait aussi la force de la couche de vapeur située près de la surface de l'eau dans l'espace libre ; et il est visible que cette force ferait équilibre à la pressiou de toutes les couches supérieures. Mais il en serait ici de la vapeur comme de l'air, c'est-à-dire que ses différentes couches étant moins comprimées, à mesure qu'elles se trouveraieut à une plus grande élévation, leurs densités, à différentes hauteurs en progression arithmétique, suivraient la loi d'uue progression géométrique décroissante (415), en partaut du terme qui répond à $13^{mil.},5$.

Remettons mainteuant la réalité à la place de cette hypothèse, et voyons ce qui arrive lorsque la vapeur, à mesure que le calorique l'entraîne avec lui, s'introduit dans l'air atmosphérique. Nous savons que, dans ce cas, la quantité de vapeur qu'admet un espace donué, est constammeut la même, à égalité de température, quelle que soit d'ailleurs la densité de l'air qui occupe cet espace. Ainsi, à la température de $15^{d.}$, la vapeur, prise à une hauteur quelconque, jouit d'une force élastique mesurée par $13^{mil.},5$ ou 6 lignes de mercure, laquelle s'ajoute à l'élasticité particulière de l'air, pour faire équilibre à la pression des couches supérieures (273). Donc la quautité de vapeur est beaucoup plus grande, à égalité d'espace, lorsque cette vapeur étant soumise à l'iuflueuce de l'atmosphère, conserve partout une deusité uniforme, qu'elle ne le serait dans le cas où, abandonnée à ses propres forces, elle aurait uue densité qui n'étant égale à la précédente que dans la première couche, dimiuuerait progressivement dans toutes les couches suivantes.

Des Brouillards et des Nuages.

447. Taut que la vapeur ne dépasse pas la quantité que l'air est susceptible d'en admettre entre ses propres molécules, à raison de sa température actuelle, elle ne trouble poiut la

transparence de ce fluide. Les rayons de la lumière traversent successivement et l'air et la vapeur avec une égale liberté. Mais il est des circonstances où la vapeur devient visible, par une suite de son abondance qui excède la capacité de l'air. La production de la fumée nous en offre un exemple familier. Lorsque l'air en contact avec l'eau qui s'évapore est sensiblement plus froid qu'elle, la quantité de vapeur qui se développe à chaque instant ne pouvant se loger toute entière dans les interstices de cet air, la partie qui est en excès subit un refroidissement qui la condense, et la rend sensible à l'œil; et comme le rapprochement qui en résulte entre les molécules aqueuses est assez peu considérable, pour que la vapeur reste moins dense que l'air, elle s'élève, par sa légéreté spécifique, dans les couches supérieures de ce fluide, où trouvant des interstices libres, elle s'y introduit de proche en proche et finit par disparaître. Cet effet a lieu surtout dans le cas où l'action du feu hâte l'évaporation, et il parvient à son *maximum*, au moment où l'eau entre en ébullition.

448. Un phénomène dû aux mêmes causes se manifeste dans l'atmosphère, lorsqu'étant à une température trop basse, relativement à la quantité de vapeurs dont elle est chargée, ces vapeurs se condensent et tendent vers leur retour à l'état de liquidité; et si alors leur pesanteur spécifique qui se trouve augmentée est seulement à-peu-près égale à celle de l'air, elles restent suspendues dans cet air sous la forme de brouillards qui répandent sur tous les objets un voile plus ou moins épais, ou de nuages qui flottent à une certaine hauteur au gré des vents.

449. L'augmentation de chaleur qui a lieu, en été, pendant le jour, à mesure que le soleil monte au-dessus de l'horizon, fait souvent disparaître le brouillard qui s'était formé pendant la nuit, et l'air reprend sa transparence. Dans ce cas, le calorique qui s'introduit entre les molécules aqueuses, augmentant leurs distances respectives, les ramène à l'état de vapeur proprement dite, et l'élévation de température que l'air lui-même a subie permet à la vapeur de s'engager dans les interstices de

ce fluide, sans perdre de sa chaleur. Ainsi l'air échauffé ne contribue point par une action directe à la conversion du brouillard en vapeur invisible ; il ne fait qu'acquérir une disposition plus favorable à l'admission et au maintien de la vapeur entre ses molécules.

450. On observe un effet à-peu-près semblable, lorsqu'on raréfie l'air renfermé sous le récipient d'une machine pneumatique. Le refroidissement qui a lieu dans le premier instant (216), détermine une partie de la vapeur que contenait l'air à se précipiter sous la forme d'un nuage, qui bientôt se perd de nouveau dans cet air, en reprenant son premier état, dès que le calorique fourni par les corps environnans a fait remonter la température au même degré.

De la Rosée et de la Pluie.

451. Lorsque l'atmosphère, après s'être chargée, pendant le jour, de la quantité de vapeurs qui pouvait y être maintenue à la température régnante, vient à subir, pendant la nuit, un refroidissement sensible, elle laisse précipiter une partie de cette vapeur, et telle est l'origine de la rosée qui paraît le matin à la surface des plantes, sous la forme de gouttelettes brillantées par les rayons naissans du soleil, et que bientôt après sa chaleur rend à l'atmosphère.

452. Il est facile de saisir l'analogie que plusieurs faits, dont l'observation nous est très-familière ont avec les précédens. Tout le monde sait que, pendant les temps de gelée, les vitres des appartemens sont mouillées à l'intérieur. Comme l'air du dehors est alors plus froid que celui du dedans, le calorique renfermé dans la partie de ce dernier qui est en contact avec les vîtres, ayant la facilité de passer à travers leur petite épaisseur, se répand à l'extérieur pour satisfaire sa tendance vers l'équilibre. Il en résulte que les molécules de la vapeur contenue dans l'air voisin des vîtres, se rapprochent en-deçà de la distance égale au rayon de leur sphère d'activité, et forment de l'eau qui se dépose sur la surface des vitres. C'est le

contraire dans les temps de dégel, où la température extérieure est plus haute, ce qui fait dire que l'on a froid dans les appartemens ; l'humidité paraît alors en dehors sur les vitres. On conçoit aussi pourquoi l'haleine des animaux, plus chaude, pendant l'hiver, que l'air où elle se répand, devient visible sous la forme d'un nuage produit par la condensation des molécules aqueuses qu'elle entraîne avec elle.

453. La pluie est, en général, l'effet d'une condensation assez forte de la vapeur répandue dans l'air, pour que les molécules de cette vapeur se réunissent en gouttes d'eau, au milieu même de l'atmosphère, ensorte que celle-ci ne pouvant plus les soutenir, les abandonne à leur pesanteur. Mais c'est surtout ici que nos connaissances ne paraissent pas assez avancées, pour nous permettre de déterminer, d'une manière précise, les causes des différentes modifications que subit le phénomène dont il s'agit. Tantôt une suite de beaux jours est interrompue par une pluie durable ; tantôt un nuage épais autour duquel d'autres nuages s'amoncèlent, vient tout-à-coup obscurcir un ciel pur et serein ; ce groupe agité par un tourbillon de vent verse, comme un torrent, une de ces pluies abondantes auxquelles on a donné le nom d'*ondées ;* un instant après le soleil reparaît dans tout son éclat, et rien ne rappelle plus le grand phénomène qui vient d'avoir lieu, que l'eau qui ruissèle encore sur la terre ; l'œil n'apperçoit dans le ciel ni les traces de son apparition récente, ni les présages de son retour prochain.

De la Neige et de la Grêle.

454. La neige provient d'une précipitation semblable à celle qui détermine la pluie, mais dans laquelle l'eau est réduite en très-petits globules qui se congèlent au milieu d'un air froid, et, se réunissant plusieurs ensemble pendant leur chute, arrivent à terre sous la forme d'une espèce d'étoile à six rayons (356), si leur cristallisation s'opère au milieu d'un air calme, ou sous la forme de flocons irréguliers, si l'agitation de l'atmosphère

donne lieu aux cristaux de se heurter et de se réunir en groupes.

455. La grêle diffère de la neige par plusieurs circonstances, dont une des plus remarquables est l'époque même de sa formation, qui n'a lieu que pendant les saisons chaudes. Elle provient d'une eau de pluie dont les gouttes se congèlent par l'effet de la température très-froide qui règne alors dans les hautes régions de l'atmosphère. Ces globules de glace présentent ensuite aux molécules aqueuses qu'ils rencontrent sur leur trajet, des espèces de noyaux dont le contact détermine ces molécules à se congeler elles-mêmes, et à s'arranger par couches concentriques autour du noyau dont elles augmentent le volume. Les grains de grêle sont rarement sphériques; leur forme présente, pour l'ordinaire, des cavités et des parties anguleuses. Quelques-uns paraissent être un assemblage de plusieurs grains d'un plus petit volume qui se sont groupés pendant leur chute.

Des Trombes.

456. Un autre phénomène que l'on admirerait s'il était moins redoutable, est celui de la trombe. Il provient d'un nuage qui s'offre assez ordinairement sous la forme d'un cône renversé, dont la base adhère à d'autres nuages auxquels le cône est comme suspendu. Lorsque la trombe est produite au-dessus de la mer, l'eau qui lui correspond s'élève en formant un second cône dont l'axe est sur la même direction que celui du cône supérieur. L'eau qui se précipite de toutes les parties de la trombe, et à laquelle se joint quelquefois une grêle abondante, est lancée au loin par les vents impétueux qui se déchaînent à l'entour. Les ravages que produit ce météore sont affreux. Il déracine les arbres les plus forts, et les jette très-loin de l'endroit où ils croissaient. S'il passe au-dessus d'une ville, il renverse les toits, les cheminées, ou même les murs des maisons, et force quelquefois les barres de fer qui portent les girouettes. Les marins, lorsqu'ils apperçoivent une trombe, font

font tous leurs efforts pour s'en éloigner, dans la crainte que, si elle venait à tomber sur le vaisseau, elle ne le submergeât à l'instant. Ce météore est beaucoup plus rare sur terre que sur mer; il se montre assez ordinairement pendant les grandes chaleurs et après un long calme (1).

Réflexions sur les indications du Baromètre.

457. Les variations de l'atmosphère, en augmentant ou en diminuant la pression que l'air exerce sur le mercure du baromètre, déterminent la colonne de ce liquide à s'alonger ou à se raccourcir, ensorte que la quantité de la pression dont il s'agit est indiquée à chaque instant par le nombre qui répond à la hauteur du mercure; et parcequ'il arrive assez souvent que le baromètre baisse lorsqu'il y a de l'agitation dans l'air, ou que le temps se dispose à la pluie, et que, au contraire, il monte aux approches d'un temps calme et serein, on a joint à certains degrés de l'échelle des indications de l'état du ciel, que la hauteur à laquelle parvient alors le mercure semble présager le plus communément. Mais l'observation prouve que le beau temps et la pluie n'ont pas une influence constante et réglée sur les variations du baromètre, qui ne sont en rapport exact qu'avec les pressions de l'air; et l'on peut dire que l'arithmétique de cet instrument est plus sûre que son langage.

En supposant même que les prédictions du baromètre s'accordassent toujours avec les faits, il faudrait pouvoir expliquer cet accord d'une manière satisfaisante. Mais malgré l'habileté des physiciens qui se sont occupés de ce sujet, et en général de tout ce qui concerne les variations de l'atmosphère, il nous semble que la théorie qu'on en a donnée laisse encore beaucoup à desirer. Seulement nous avons des principes solidement établis, dont la liaison avec l'objet de cette même théorie fait espérer qu'ils seront un jour employés avec avantage à la déve-

(1) Encyclopédie Méthod., Marine, t. III, Deuxième Partie, p. 791.

lopper. Tels sont ceux qui résultent des expériences de Saussure, de Deluc, de Gay-Lussac et de Dalton. C'est en combinant ces principes avec des observations suivies sur l'état de l'atmosphère, que l'on parviendra à lever les nombreuses difficultés que présentent, et la diversité des phénomènes dont la théorie doit embrasser l'ensemble, et celle des causes qui souvent se compliquent dans la production d'un seul phénomène.

De l'origine des Fontaines.

458. L'évaporation a fourni la véritable explication d'un fait qui avait long-temps embarrassé les physiciens. On voyait les fleuves et les rivières couler continuellement de leurs sources vers la mer, et ces sources ne tarissaient pas. La mer recevait de toutes parts les tributs de ces différentes eaux, et la mer ne regorgeait pas. On en avait conclu qu'il fallait que les eaux retournassent de la mer aux fontaines, et que la nature eût ouvert, entre les unes et les autres, une communication non interrompue. Mais par quel chemin se faisait ce retour? Où étaient les conduits qui reportaient les eaux de la mer aux sources des fleuves? Comment perdaient-elles leur salure dans ce trajet? C'était là le point de la difficulté, et pour la résoudre, on avait eu recours à différentes hypothèses plus spécieuses que solides.

Les uns, adoptant l'idée de Descartes, croyaient que les eaux de la mer allaient, par des canaux souterrains, se rendre dans de grandes cavernes situées à la base des montagnes; qu'ensuite, au moyen de la chaleur qui régnait dans ces souterrains, elles se vaporisaient en se dépouillant de leur sel, et après s'être élevées jusqu'aux parois supérieures de la cavité, s'y condensaient par le refroidissement, et ruisselaient à l'origine des fleuves et des rivières. C'était une véritable distillation semblable à celle qui s'opère dans les laboratoires des chimistes.

Selon les autres, les eaux de la mer, poussées par l'action du flux, s'introduisaient dans la terre par une multitude de fissures, où elles éprouvaient une filtration qui leur enlevait leur sel.

Ces espèces de canaux, dont les ramifications s'étendaient de toutes parts, les conduisaient ainsi jusqu'aux endroits où elles formaient des sources par leur réunion.

En appréciant ces hypothèses d'après les idées d'une saine Physique, on conçoit aisément qu'admettre dans la nature ces alambics et ces filtres, c'était lui prêter les moyens de notre art, et vouloir l'astreindre à le copier, elle qui est souvent pour lui un modèle inimitable. On conjectura enfin qu'il ne fallait point chercher aux fontaines une autre origine que celle des pluies elles-mêmes, et voici ce que l'observation et la raison nous dictent également sur cet objet.

459. L'eau s'élève de toutes parts, dans l'atmosphère, par l'évaporation. Celle de la mer dépose son sel, à mesure que ses molécules abandonnent sa surface, pour se mêler à l'air. Une partie des rosées et des pluies qui proviennent de ces eaux, tombe sur les sommets des montagnes : ces sommets paraissent même agir par affinité sur les nuages, et les fixer. On a observé qu'un nuage qui rencontrait un pic sur son passage, s'effaçait à mesure que ses différentes parties approchaient du contact. Les eaux s'infiltrent dans les terres qui recouvrent les montagnes, jusqu'à ce qu'elles rencontrent un lit imperméable pour elles, et de là elles vont sourdre aux différens endroits de la pente et du pied de la montagne où le lit qui les a reçues se montre à découvert.

Dans les montagnes primitives, les eaux coulent le long des pierres dures qui composent comme la charpente de ces grandes masses, et de leur réunion se forment les torrens. Les montagnes secondaires, dont la matière est plus tendre et comme spongieuse, laissent pénétrer les eaux à une plus grande profondeur, où elles les arrêtent par des couches d'argile dont ces eaux suivent la pente ; et c'est dans les joints des couches voisines que se trouvent les issues qui les répandent. Celles qui n'ont pas paru à la surface, continuent de couler dans le sein de la terre, où l'homme va les chercher par les ouvertures des puits qu'il creuse à côté de ses habitations.

460. Mais n'était-ce pas trop accorder à l'évaporation, que

de supposer qu'elle pût fournir seule cette immense quantité d'eau nécessaire à l'entretien de tant de sources, surtout en y joignant celle qui est perdue pour les fleuves et les rivières, et qui sert de boisson aux animaux, ou est absorbée par les plantes? Mariotte, dans son Traité du Mouvement des Eaux, a discuté cette question avec son exactitude ordinaire, en comparant la quantité d'eau de pluie qui tombe à Paris et aux environs, pendant le temps d'une année moyenne, avec celle qui passe dans le même temps sous le Pont-Royal; et il résulte de ses observations et de ses calculs, que ce qui tombe d'eau excède tellement la quantité qui suffit pour entretenir le cours des rivières et pour remplir les étangs, qu'il faut supposer que le reste soit employé avec une profusion pour ainsi dire excessive, aux besoins de la végétation et aux autres dépenses particulières. La solution de la difficulté semble fournir une nouvelle objection en sens contraire (1).

L'explication que nous venons de donner ramène ainsi la nature à sa simplicité ordinaire. L'air atmosphérique, par une seule action, donne sans cesse un libre accès entre ses molécules à celles des eaux répandues sur la surface dn globe, et après leur avoir servi de véhicule, il les laisse précipiter çà et là, et les rend à tout ce qui les redemande, aux plaines et aux prairies qu'elles désaltèrent, aux sources des fleuves qu'elles alimentent, et à l'Océan dont elles réparent les pertes.

Des Aérostats.

Après avoir exposé les connaissances acquises jusqu'ici sur les divers états de l'air, nous ne pouvons nous dispenser de donner quelques détails sur une découverte propre à nous en procurer de nouvelles relativement à cet objet, et qui d'ailleurs a des points communs avec la Physique. C'est celle des aérostats, par laquelle Mongolfier a rendu son nom à jamais célèbre.

(1) Traité du Mouvement des Eaux, Paris, 1718, p. 30 et suiv.

Moyens anciennement proposés pour s'élever dans l'Air.

461. L'idée d'un voyage entrepris par l'homme au milieu des airs, promettait un spectacle si imposant et si propre à exciter l'admiration, que l'on conçoit comment il s'est rencontré plus d'une fois des hommes assez hardis pour tenter de la réaliser. Le vol des oiseaux, en inspirant un sentiment de rivalité, semblait offrir le modèle du mécanisme qui devait servir à l'exécution du projet. Mais en premier lieu l'oiseau trouve des facilités pour exécuter les divers mouvemens relatifs au vol, dans la conformation de son corps, et dans la position et la structure de ses ailes composées de plumes, dont la substance est très-légère, et qui sont des tuyaux creux; de plus, la grande force musculaire dont il a été pourvu par l'Auteur de la nature, lui donne l'avantage de frapper l'air assez puissamment et assez rapidement pour s'élever à son gré, s'élancer en avant et planer au-dessus du même endroit. Dans l'homme, au contraire, la force des muscles, loin de compenser le désavantage du poids, est bien inférieure à ce qu'elle devrait être, toutes choses égales d'ailleurs, pour le mettre en état d'agir sur l'air, avec un excès de vitesse qui lui fît trouver un point d'appui dans ce fluide si mobile et si prompt à céder. De là les tentatives malheureuses de tous ceux qui ont aspiré à la pratique d'un art qu'il fallait laisser aux héros de la fable.

462. On pouvait viser au même but d'une autre manière, en substituant au mécanisme du vol celui de la navigation. Pendant le cours des deux derniers siècles, Lana et Gallien, en se bornant à de simples spéculations, proposèrent deux moyens différens pour remplir ce second objet. Lana composait son appareil de quatre globes de cuivre, dans lesquels on ferait le vide, et qui étant à la fois très-spacieux et très-minces, deviendraient capables, par leur excès de légéreté, d'enlever un homme avec son support (1). Mais plusieurs savans

(1) Prodromo, dell' Arte Maestra, Brescia, 1670

ont réfuté cette idée, en objectant que les globes ne manqueraient pas de crever par la pression de l'atmosphère.

Gallien était parti d'une idée qui paraît d'abord plus plausible en elle-meme, et qui consistait à faire flotter dans l'atmosphère un grand vaisseau occupé par un air respectivement plus léger que celui qui le soutiendrait (1). La difficulté eût été de mettre ce principe en exécution; mais comme Gallien ne prétendait offrir à son lecteur qu'une simple récréation physique, et le faire voyager en idée, rien ne le gênait du côté des moyens, pourvu qu'ils eussent leur possibilité dans la nature. En conséquence, il faisait son vaisseau aussi grand qu'une ville, et capable de contenir une armée avec tout son attirail, et des provisions pour un long voyage. Il le supposait ensuite transporté dans l'atmosphère, à une telle hauteur, que l'air dont il se remplirait fût une fois plus léger que celui au-dessus duquel il flotterait. Mais quelque élevés qu'eussent été les bords du vaisseau, l'air qui s'y serait introduit se serait comprimé par son propre poids, dans le même rapport que l'air environnant, et l'on concevra aisément que dès lors le vaisseau n'aurait pu se soutenir un seul instant au milieu de l'atmosphère.

Premiers Aérostats.

463. Ainsi l'on n'avait encore, relativement à l'art de s'élever dans les airs, que des essais infructueux et des spéculations fausses et romanesques, lorsqu'en 1782 Mongolfier, ayant réfléchi sur le phénomène que présentent les nuages qui se soutiennent en flottant dans l'atmosphère, conçut l'idée de donner des enveloppes très-légères à des nuages factices, composés de vapeurs produites par la combustion de diverses substances. Il pensa que ces vapeurs, mêlées à l'air raréfié par la chaleur dans l'intérieur des enveloppes, formeraient avec elles un tout spécifiquement plus léger que l'air environnant. Quel-

(1) L'Art de Naviguer dans les airs, Avignon, 1755.

ques essais qu'il fit en particulier avec son frère, ayant eu une pleine réussite, ils répétèrent leur expérience à Annonay, l'année suivante, en présence d'un grand nombre de spectateurs; et là on vit une espèce de grand sac de toile, doublé en papier, et d'abord informe, couvert de plis et affaissé par son poids, se gonfler et se développer par l'action de la chaleur, s'élever ensuite sous la forme d'un ballon de cent dix pieds de circonférence, et parvenir à une hauteur de mille toises.

On sait que depuis, l'expérience fut renouvelée plusieurs fois à Paris, et que la machine servit à élever des hommes qui entretenaient eux-mêmes le feu dans un réchaud suspendu sous l'ouverture de l'aérostat. Dans les premiers essais, la machine était retenue par des cordes qui lui permettaient seulement de s'élever à une certaine hauteur. Enfin, Pilatre des Rosiers et Darlandes, partis avec l'aérostat abandonné à lui-même, parcoururent près de quatre mille toises en dix-sept minutes, et donnèrent le spectacle du premier voyage que l'homme ait fait à travers les airs.

Mongolfier, dans ses expériences, faisait brûler des matières animales avec de la paille, pour enfler l'aérostat; et l'on aurait pu croire que l'ascension de la machine était due en partie à la présence d'un gaz particulier, composé des différens principes qui se développaient dans la combustion. Mais il est prouvé que cet effet provenait uniquement de la raréfaction de l'air renfermé dans l'aérostat.

Aérostats à Air inflammable.

464. Peu après la nouvelle de l'expérience d'Annonay, Charles proposa de substituer à l'air dilaté, le gaz hydrogène, qui, dans le plus grand état de pureté auquel on l'ait amené jusqu'ici, est environ treize fois plus léger que l'air. Il ne s'agissait que de trouver une enveloppe imperméable à ce gaz, et dans laquelle on pût l'emprisonner. Ce procédé était plus dispendieux, mais en même temps moins dangereux et plus

simple que le premier ; l'aérostat se suffisait à lui-même, et son volume, ainsi que son poids, se trouvaient sensiblement diminués. Parmi les differentes substances dont on pouvait composer les enveloppes, Charles préfera le taffetas enduit de gomme élastique, qui provient du suc épaissi d'un arbre de l'Amérique, auquel on a pratiqué des incisions. On fait dissoudre cette gomme dans l'huile de térébenthine, avant d'en enduire le taffetas. On lança du Champ-de-Mars un globe construit par ce procédé, et qui avait environ douze pieds de diamètre. Ce globe s'éleva en deux minutes à près de cinq cents toises ; il se soutint environ trois quarts d'heure dans l'air, et alla tomber à quatre lieues de Paris.

Quelques temps après, Charles et Robert, portés dans une nacelle suspendue à un autre aérostat du même genre, et de vingt-six pieds de diamètre, parcoururent un espace de neuf lieues avant de descendre ; et bientôt, Charles resté seul dans la nacelle, par un nouvel essor digne de son zèle et de son courage, s'éleva, en un clin d'œil, à une hauteur de près de dix-sept cents toises, comme pour aller, au nom des physiciens, prendre possession de la région des météores.

465. A mesure qu'un ballon de cette espèce s'élève davantage dans des couches d'air dont la densité diminue progressivement, le gaz, moins comprimé, fait effort pour s'étendre, ce qui peut occasionner la rupture du ballon. On prévient cet accident, en adaptant au haut du ballon une soupape, que l'on est le maître d'ouvrir, pour laisser sortir une partie du gaz, lorsque sa dilatation a atteint sa limite. On peut encore modérer la résistance de la soupape, de manière qu'elle soit moindre que celle de l'étoffe ; dans ce cas, la soupape s'ouvrira d'elle-même pour donner une issue au gaz.

Les voyageurs étaient obligés de perdre encore de leur gaz, lorsqu'ils voulaient descendre. On a proposé d'enfermer le ballon dans un autre, occupé par de l'air atmosphérique ; on ferait sortir, à volonté, une portion de cet air, ou l'on en fournirait de nouveau, au moyen d'un soufflet adapté au ballon extérieur, ce qui donnerait au voyageur la facilité de s'élever ou

de descendre, autant de fois qu'il voudrait, en conservant tont son gaz inflammable.

Usages des Aérostats, pour le progrès de la Physique.

466. La perfection à laquelle on a porté parmi nous la constrnction des ballons aérostatiques, faisait espérer que l'usage de ces belles machines pourrait conduire à de nouvelles connaissances intéressantes sons le rapport de la Physique. Cette espérance a déjà été réalisée en partie, depuis le moment où deux physiciens distingués, Biot et Gay-Lussac, profitant d'une circonstance favorable, s'offrirent d'eux-mêmes, par dévouement, pour une savante expédition aérienne à laquelle un choix unanime aurait pu également les appeler. Nous rendrons compte, dans la suite, des observations qui en ont été le fruit. Mais nous devons parler ici d'un des principaux résultats d'nn nouveau voyage entrepris par Gay-Lussac seul, et qui a été remarquable en lui-même, par la circonstance de la plus grande élévation à laquelle l'homme soit encore parvenu. Elle était de 6977$^{mèt.}$,37 (3579^{toises},9) au-dessus de Paris, et de 7016$^{mèt.}$ (3600$^{t.}$) au-dessus du niveau de la mer. Gay-Lussac ayant ouvert, à la hauteur de 6636 mètres, un ballon de verre qu'il avait apporté, après y avoir fait le vide, s'en servit pour puiser de l'air dans la région où il se trouvait, et le referma exactement. De retour à Paris, il analysa cet air comparativement avec de l'air pris an milieu de la cour d'entrée de l'École Polytechnique, et il résulta de cette comparaison que l'air qu'on respire à la surface de la terre, et celui qui est situé à une très-grande hauteur, ont sensiblement la même composition, et contiennent chacun 0,2149 d'oxigène (1).

(1) Journal de Physique, Frimaire an XIII, p. 454 et suiv.

3. De l'Air considéré comme Véhicule du Son.

Nous avons maintenant à considérer l'air comme étant le milieu qui transmet le son. Nous exposerons d'abord les phénomènes généraux des corps sonores : de là nous passerons à la comparaison des sons appréciables, d'après le rapport entre les nombres de vibrations qui leur correspondent, et enfin nous déduirons, des observations relatives aux effets des instrumens à vent, la théorie la plus vraisemblable de la propagation du son.

Du Son en général.

467. Le son naît d'un mouvement vibratoire imprimé par la percussion, ou de toute autre manière, aux molécules d'un corps. Prenons pour exemple une corde d'instrument que l'on pince ; à l'instant tous les points de cette corde s'éloignent plus ou moins de la position qu'ils avaient, lorsque la corde était en repos, suivant qu'ils sont plus ou moins éloignés des points d'attache ; et la corde entière va et revient alternativement, en deçà et au-delà de sa première situation, par un mouvement de vibration qui provient de son élasticité.

Les molécules d'air contiguës aux différens points de la corde, prennent des mouvemens semblables à ceux de ces points ; elles vont et reviennent avec eux. Chaque molécule communique du mouvement à celle qui est derrière, celle-ci à une troisième, et ainsi de suite, jusqu'aux molécules qui sont en contact avec le tympan de l'oreille. L'air agit à son tour sur cette membrane, en lui communiquant ses vibrations, qu'elle transmet au nerf auditif, et de là résulte la sensation du son.

468. Supposons maintenant que le corps sonore soit un timbre, comme dans l'expérience que nous citerons bientôt. On peut concevoir ce timbre comme formé d'une infinité d'anneaux

superposés, depuis la base jusqu'au point culminant ; au moment de la percussion, chaque anneau se comprime de manière à prendre une figure ovale, dont le grand axe est perpendiculaire au sens suivant lequel la percussion s'est faite. Le retour de l'anneau à sa première figure, est suivi d'un nouveau changement de figure, qui produit un ovale en sens contraire du premier ; et les deux changemens se succèdent ainsi, jusqu'à ce que le son s'éteigne avec le mouvement. Les vibrations des différentes molécules qui composent chaque anneau, excitent de même, dans l'air voisin, une petite agitation qui se communique de proche en proche, jusqu'au terme où l'on cesse d'entendre le son ; et il en faut dire autant, proportion gardée, de tous les corps ébranlés par la percussion.

A l'égard du degré auquel répond le son rendu par un timbre, il faut concevoir que les anneaux situés plus près de la base, ayant une plus grande circonférence, tendent à faire plus lentement leurs vibrations, tandis que les anneaux plus voisins du sommet, où la circonférence est plus petite, tendent à produire des vibrations plns fréquentes. Il s'établit donc ici, à-peu-près comme dans le pendule composé, une compensation en vertu de laquelle les vibrations se trouvent ramenées à une égale durée, qui est une espèce de moyenne entre celle qui aurait lieu pour les anneaux inférieurs, et celle qui mesurerait le mouvement des anneaux supérieurs, si les uns et les autres étaient isolés.

469. Une observation très-facile à faire, et qui nous paraît mériter d'être indiquée, est celle de l'effet que produisent sur l'eau les vibrations d'un verre à boire, rempli de ce liquide presque jusqu'au haut, tandis qu'on fait tourner sur ses bords un doigt mouillé, pour exciter un son connu de tous ceux qui se sont amusés de cette expérience. Voici ce que l'on remarque en pareil cas : l'eau tourne autour du verre, en suivant le mouvement du doigt, et en même temps sa surface est toute parsemée de rides blanchâtres, qui se succèdent rapidement en allant des bords vers le centre ; et si l'on précipite le mouvement, les molécules de l'eau jailliront de tous côtés autour du verre et sur la main de l'observateur. Cette expérience

réussit mieux avec un verre à pied, que l'on maintient dans une position fixe, en appuyant avec la main sur sa base.

On pourra remarquer, en la faisant successivement avec des verres de grandeurs différentes, que les rides deviennent plus petites, et prennent un mouvement plus rapide, à mesure que le son est plus aigu.

470. Le son se propage de tous côtés en ligne droite, tant qu'aucun obstacle ne l'arrête; ensorte que l'on peut considérer chaque point du corps sonore, comme étant le sommet commun d'une infinité de cônes très-déliés, et d'une longueur indéfinie. Chacun de ces cônes est ce qu'on appelle un *rayon sonore*; au reste, nous n'avons fait qu'ébaucher ici la théorie de la propagation du son, sur laquelle nous reviendrons avec plus de détails, lorsque nous aurons exposé les connaissances qui doivent en fournir le développement.

Expériences sur la Transmission du Son.

471. On prouve, à l'aide d'une expérience fort simple, que l'air est le véhicule du son. Elle consiste à placer sous le récipient d'une machine pneumatique, un mouvement d'horlogerie, propre à faire résonner un timbre, et qui repose sur un coussinet rempli de coton ou de laine. On fait le vide, et ensuite au moyen d'une tige qui traverse le haut du récipient, on appuie sur une détente, qui, en se lâchant, permet au rouage d'agir; on voit alors, sans rien entendre, le marteau frapper continuellement le timbre.

Hauksbée, pour rendre cette expérience encore plus décisive, plaçait le timbre sous un premier récipient qui restait plein d'air, et qui était recouvert d'un second récipient tellement disposé, que l'on pouvait faire le vide entre l'un et l'autre. Quoiqu'il se produisît du son dans le récipient intérieur, lorsque le marteau était mis en mouvement, le timbre demeurait également muet pour l'observateur (1).

472. Il suit de là, que dans un air raréfié jusqu'à un certain

(1) Expér. Physico-Mécaniques, etc., Paris, 1754, t. II, p. 326.

degré, tel que celui qui repose sur le sommet des hautes montagnes, le son doit perdre de sa force; et si ce sommet est isolé, l'absence des corps susceptibles de répercuter le son, en diminuera encore l'intensité. C'est ce qu'a observé Saussure, lorsqu'il se trouvait sur la cime du Mont-Blanc, où, suivant son rapport, un coup de pistolet ne faisait pas plus de bruit qu'une petite pièce d'artifice n'en fait dans une chambre (1).

473. On a remarqué, d'une autre part, que le son acquérait de la force à travers un air condensé, et que la densité restant la même, la force du son s'accroissait aussi lorsqu'on augmentait, au moyen de la chaleur, le ressort de l'air.

474. Le son se fait aussi entendre, mais plus faiblement, à travers l'eau, soit que l'on plonge le corps sonore dans ce liquide, soit que l'observateur s'y trouve plongé lui-même; ce qui indique, comme nous l'avons déjà remarqué (296), que l'eau est compressible et élastique jusqu'à un certain point, quoique jusqu'ici on n'ait pu parvenir à la comprimer sensiblement par des expériences directes.

475. Tous les corps solides dont la structure est telle, que le mouvement de vibration imprimé à quelques-unes de leurs molécules, puisse se communiquer à travers leur masse, seront de même susceptibles de transmettre le son. Un fait assez singulier dans ce genre, et que les philosophes ne dédaignent pas de répéter après les enfans, est celui qui a lieu, lorsqu'ayant l'oreille appliquée à l'un des bouts d'une longue poutre, on entend distinctement le choc d'une tête d'épingle qui frappe le bout opposé, tandis qu'à peine le même son peut-il être entendu à travers l'épaisseur de la poutre. Cette différence provient de ce que, dans le premier cas, le son suit la direction des fibres longitudinales, où la continuité des parties est plus parfaite que dans le sens transversal; et il est remarquable que ces parties aient assez de ressort, pour que le son perde si peu de sa force en parcourant l'espace qu'elles occupent.

(1) Voyages dans les Alpes, N° 2020.

476. Les corps qui frappent l'air immédiatement, excitent aussi dans ce fluide des vibrations sonores. Ainsi l'air éclate sous le fouet qui l'agite avec violence, et siffle sous l'impulsion d'une baguette ; il devient également capable de résonner, lorsqu'il va lui-même frapper un corps solide avec une certaine vîtesse, comme lorsque le vent souffle contre les édifices, les arbres et autres corps qui se trouvent sur son passage.

De la Vitesse du Son.

477. Le son emploie un certain temps à se répandre dans l'air, et parvient plus tard à l'oreille, lorsqu'on s'éloigne davantage du corps qui le rend. Les physiciens ont cherché à déterminer, par l'expérience, la vîtesse avec laquelle se fait la propagation du son ; et pour y parvenir, ils ont profité de ce que celle de la lumière est au contraire sensiblement instantanée, du moins dans les distances auxquelles s'étendent nos mesures. L'explosion du canon était propre à donner les résultats cherchés ; il ne s'agissait que d'estimer le temps qui s'écoulait entre le moment où la lumière indiquait à l'œil le départ du son et celui où le son lui-même avertissait l'oreille de son arrivée. L'incertitude que laissaient encore diverses expériences qui avaient été faites sur cet objet, determinèrent, en 1738, l'Académie des Sciences à en entreprendre de nouvelles, sur une ligne de 14636 toises, située entre Monthléry et Montmartre.

On trouva que le son avait une vîtesse uniforme, qui lui faisait parcourir environ 173 toises (337 mètres) par seconde, ensorte qu'il était seulement plus faible à une plus grande distance, mais franchissait successivement des espaces égaux en temps égaux. La vîtesse paraissait la même par un temps pluvieux ou serein ; mais la direction et la force du vent pouvaient la faire varier. Si le vent était dirigé perpendiculairement à la ligne qui allait du corps sonore à l'observateur, la vîtesse du son était encore la même que dans un temps calme ; mais si la direction du vent concourait avec la ligne dont il s'agit,

alors, suivant qu'elle avait lieu dans le même sens que le son, ou en sens opposé, il fallait ajouter la vîtesse du vent à celle du son, ou l'en retrancher. Enfin la force du son n'apportait aucun changement dans sa vîtesse.

La connaissance de la vîtesse du son fournit un moyen d'estimer à-peu-près, par la lumière et par le bruit du canon, les distances que l'on a intérêt de connaître à l'instant, comme celle où l'on se trouve à l'égard d'une ville assiégée, d'un vaisseau ou d'un port de mer.

478. On a essayé aussi de déterminer, à l'aide du calcul, la vîtesse du son. Mais la théorie donnait pour cette vîtesse une quantité sensiblement plus petite que celle qui résultait de l'observation, et aucune des hypothèses que l'on avait imaginées pour rendre raison de cette différence n'était satisfaisante. Laplace, en réfléchissant sur un phénomène dont nous devons la connaissance à la chimie moderne, a conçu la possibilité d'en déduire la solution de la difficulté dont il s'agit. On sait que l'air, à mesure qu'on le condense, développe une partie de la chaleur latente qu'il renfermait, et qui passe à l'état de chaleur sensible; et au contraire, lorsqu'on le raréfie, il absorbe une certaine quantité de chaleur sensible, qui devient chaleur latente (216). Or, dans la propagation du son, les molécules de l'air éprouvent successivement de petites condensations et de petites dilatations semblables à celles d'un ressort qui tour à tour se comprime et se débande. Elles développent donc, au moment de la condensation, une petite quantité de chaleur qui, en élevant leur température, augmente leur force élastique, d'où résulte une accélération dans la vîtesse de leur mouvement vibratoire. Lorsqu'ensuite le débandement, qui est une vraie dilatation, succède à la compression, la petite quantité de chaleur développée redevient insensible; après quoi les mêmes effets se répètent, et ainsi de suite; d'où l'on voit que la propagation du son doit se faire plus rapidement que dans le cas d'une température uniforme.

La manière dont Biot a appliqué l'analyse mathématique à cette idée, lui donne un nouvel air de vérité. Cet habile géo-

mètre a introduit dans la formule qui représente la vîtesse du son, d'après la théorie ordinaire, l'expression de l'accroissement de vîtesse que doit produire l'action de la chaleur ; et comme les quantités qui entrent dans cette expression ne pourraient être déterminées que très-difficilement par l'expérience, il s'est proposé le problème inverse, qui consiste à chercher, d'après les connaissances acquises sur la propagation du son, quelle doit être la petite portion de chaleur rendue sensible par chaque condensation, et l'accroissement d'élasticité qui en est la suite, pour que la formule soit d'accord avec l'observation ; et il a trouvé que les valeurs auxquelles conduisait le calcul n'avaient rien qui ne fût compatible avec des résultats d'expériences faites en grand; ce qui promet une solution directe du problème, fondée sur la cause dont nous avons parlé, quand l'observation aura fourni les données nécessaires pour y parvenir.

479. Nous avons dit (475) que l'air n'est pas le seul milieu qui soit susceptible de transmettre le son, et que les corps solides et l'eau partagent avec lui cette propriété. Elle a été aussi reconnue dans diverses substances aériformes. Hassenfratz a entrepris une suite d'expériences faites en grand et dans les circonstances les plus propres à les rendre concluantes, pour comparer la vîtesse du son propagé par l'intermède de l'air, avec celle qui a lieu à travers des corps solides, et pour étendre cette comparaison à l'intensité du son, d'après la différence des distances auxquelles on cesse de l'entendre, suivant qu'il est transmis de l'une ou l'autre manière.

Ce physicien étant descendu dans une des carrières situées au-dessous de Paris, chargea quelqu'un de frapper avec un marteau contre une masse de pierre qui forme le mur d'une des galeries pratiquées au milieu des carrières. Pendant ce temps il s'éloignait peu à peu du point où la percussion avait lieu, en appliquant une oreille contre la masse de pierre; bientôt il distingua deux sons, dont l'un était transmis par la pierre et l'autre par l'air. Le premier arrivait à l'oreille beaucoup plus tôt que l'autre; mais il s'affaiblissait aussi beaucoup plus rapidement, à mesure que l'observateur s'éloignait, ensorte qu'il

qu'il cessa d'être entendu à la distance de cent trente-quatre pas, tandis que celui auquel l'air servait de véhicule ne s'éteignit qu'à la distance de quatre-cents pas.

Des corps de diverses natures, tels que des barrières de bois et des suites de barres de fer disposées sur une longueur plus ou moins considérable, ont donné des résultats analogues, avec cette différence que le son propagé par le bois parcourait un beaucoup plus grand intervalle que le son transmis par l'air, avant d'arriver au terme où il devenait nul pour l'oreille, ce qui était l'effet inverse de celui qu'avait offert la comparaison de l'air avec la pierre. Le même physicien a remarqué de plus que non seulement la transmission du son à travers les corps solides est en général plus rapide que celle qui a lieu par l'intermède de l'air, mais qu'elle se fait dans un temps inappréciable, du moins relativement aux distances auxquelles ses expériences ont été limitées, et dont la plus grande était de deux cent dix pas.

Des Sons réfléchis.

480. Lorsque le son rencontre un corps qui lui fait obstacle, les molécules d'air qui choquent ce corps sont réfléchies à la manière des corps élastiques, en faisant leur angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, et communiquent ensuite à celles qui sont derrière elles le mouvement qu'elles ont reçu par la réflexion; d'où il suit que le son se répand de nouveau dans toutes les directions, en retournant de l'obstacle vers l'espace qu'il avait d'abord traversé. Dans les lieux clos, tels que les appartemens, le son est ainsi renvoyé continuellement d'un mur à l'autre, et lorsque le lieu est voûté, ou que ses parois ont une élasticité sensible, on dit que ce lieu devient sonore, ce qui signifie que le son paraît s'y prolonger, en se succédant à lui-même dans de si petits intervalles que l'oreille ne fait pas la distinction de toutes ces impressions qui arrivent à elle coup sur coup.

Mais si l'on se trouve en plein air, à une certaine distance

de l'obstacle, il s'écoulera un intervalle de temps sensible entre le son direct et le son réfléchi, et l'on aura ce qu'on appelle un *écho*, et que ceux qui n'y font pas attention prennent pour une simple répétition des dernières paroles prononcées. On voit aisément pourquoi les poëtes, qui faisaient de l'écho un être animé, avaient placé son habitation près des montagnes, des rochers et des bois.

Suivant que l'obstacle qui réfléchit le son est uniqne, ou qu'il se trouve plusieurs obstacles placés à des distances convenables, l'écho est simple ou redoublé. Musschenbroek cite un écho de ce dernier genre, qui répétait le même son jusqu'à quarante fois. Deux murs parallèles qui se renvoient mutuellement le son, peuvent produire un écho redoublé, pour un observateur placé dans l'espace intermédiaire.

481. L'art a disposé certaines constructions d'édifices, de manière à produire, au moyen du son réfléchi, un effet curieux qui s'explique aisément par la géométrie. On sait que l'ellipse a cette propriété, que deux rayons menés de ses foyers à l'un quelconque des points de sa courbure, font des angles égaux avec la tangente au même point. Si donc on suppose une voûte ou un mur d'une figure elliptique, tous les rayons sonores partis de l'un des foyers, iront, après leur réflexion sur les différens points de la courbe, passer par l'autre foyer où ils concentreront le son. De cette manière, un homme, en plaçant sa bouche à l'un des foyers, pourra prononcer à voix basse des paroles qui seront entendues distinctement par une oreille attentive à l'autre foyer, et qui resteront secrètes pour les témoins situés entre les deux interlocuteurs, ensorte qu'il n'y aura que l'écho qui soit dans la confidence.

Des Sons comparés.

482. Après avoir considéré le son dans ses effets les plus généraux, tels que le mouvement de vibration du corps qui le fait naître, ou de l'air qui le propage, la vîtesse avec laquelle il parcourt cet air, sa reproduction à la rencontre des corps

qui le réfléchissent ; nous avons à traiter maintenant des rapports entre les sons, comparés d'après les nombres de vibrations que font, dans le même temps, différens corps sonores. Les observations qui déterminent ces rapports sont du ressort de la Physique, et l'art du musicien consiste à les employer de la manière la plus propre à flatter l'oreille, soit par la succession bien ordonnée des sons simples, d'où dépend la mélodie, soit par l'heureuse combinaison des sons simultanés, dans laquelle consiste l'harmonie. Le physicien n'envisage que ce qu'on pourrait appeler *la musique de l'esprit ;* c'est à l'artiste qu'appartient *la musique du sentiment.*

483. Les sons ne se prêtent à la comparaison qu'autant qu'ils sont appréciables. C'est cette qualité du son qui fait que l'oreille en saisit le degré, et que chacun a naturellement la facilité, lorsqu'il entend un de ces sons qui est à la portée de sa voix, d'en former un qui l'imite parfaitement, et qui ne paraît être que le même son rendu par un autre organe.

Cette manière de parler des sons, comme étant placés à différens degrés les uns au-dessus des autres, et de supposer que la voix monte ou descend, n'est qu'un langage figuré qui a été suggéré par les apparences, et auquel la notation de la musique a été assortie.

On donne aussi le nom de *graves* aux sons les plus bas, et celui d'*aigus* à ceux qui sont les plus hauts.

Mais la différence réelle et physique entre un son grave et un son aigu, consiste en ce que le corps qui rend le premier, fait un moindre nombre de vibrations, dans un temps donné, que celui qui produit le second.

Des principaux Intervalles entre les Sons.

484. Les expériences faites sur les cordes sonores ont fourni un moyen facile de trouver le rapport entre les nombres de vibrations, d'où résultent deux sons qui diffèrent entre eux d'un nombre déterminé de degrés. En général, la fréquence des vibrations d'une corde sonore dépend de trois choses, savoir,

la longueur de cette corde, sa grosseur et sa tension. La formule à laquelle Taylor a été conduit par le calcul, fait voir qu'à densité égale le nombre des vibrations, dans un temps donné, est proportionnel à la racine carrée du poids qui tient cette corde tendue, divisée par le produit de la longueur de la corde par son diamètre, et c'est ce que confirme l'observation.

485. Dans les expériences relatives à cet objet, on se sert d'un instrument appelé *sonomètre*, qui est une espèce de caisse oblongue, sur laquelle on tend, avec des poids, deux cordes de laiton, pour comparer les nombres de leurs vibrations. Ordinairement on ne fait varier que l'une des trois quantités dont nous avons parlé; c'est-à-dire, par exemple, que si l'on tend les cordes avec des poids différens, on prend ces cordes de la même grosseur, et on leur donne la même longueur. Dans ce cas, le rapport entre les nombres de vibrations, pendant un certain temps, pris pour unité, est indiqué par le rapport des racines carrées des poids tendans.

Si l'on représente de même par l'unité le plus bas des deux sons que l'on compare, on aura les rapports suivans entre le son dont il s'agit, et le son aigu qui est supposé être entendu en même temps que lui.

L'octave sera représentée par 2, c'est-à-dire, que le son aigu fera deux vibrations, tandis que le son grave n'en fera qu'une; c'est l'intervalle entre les deux *ut* de la gamme ordinaire.

La quinte, ou l'intervalle de *ut* à *sol*, en montant, aura pour expression $\frac{3}{2}$; ainsi le son aigu de cette consonnance fera trois vibrations contre deux du son grave.

La quarte, ou l'intervalle de *ut* à *fa*, sera représentée par $\frac{4}{3}$.

La tierce majeure, ou l'intervalle de *ut* à *mi*, par $\frac{5}{4}$.

La tierce mineure, ou l'intervalle de *mi* à *sol*, par $\frac{6}{5}$.

Nous nous bornons ici aux consonnances; on représenterait de même les dissonances, en faisant varier de plusieurs autres manières les deux termes du rapport.

De la Série des Sons renfermés dans celui que rend une corde vibrante.

486. Chaque son, tel qu'il parvient ordinairement à l'oreille, est, au jugement de cet organe, un effet très-simple, une espèce d'élément dont rien ne paraît altérer la pureté; et cependant chaque son renferme réellement une multitude d'autres sons plus aigus, dont quelques-uns deviennent sensibles dans certains cas, pour une oreille tant soit peu délicate, et les autres ont leur existence indiquée par différentes observations.

Supposons d'abord qu'il n'y ait dans un lieu qu'une seule corde d'une certaine longueur, comme l'une de celles qui forment la basse d'un clavecin, ou la grosse corde d'un violoncelle, et qu'après avoir tendu cette corde convenablement, on la fasse résonner. En prêtant une oreille attentive à une petite distance de la corde, on entendra, outre le son principal, deux autres sons plus faibles, mais très-distincts; et si l'on représente toujours le son principal par l'unité, les deux sons concomitans seront représentés l'un par 3 et l'autre par 5; c'est-à-dire, que le premier étant *ut*, le second sera l'octave de sa quinte *sol* en montant, et le second la double octave de sa tierce majeure *mi*.

Cette expérience réussit de même avec un violon, lorsqu'on passe l'archet sur la grosse corde, à une petite distance du chevalet, dans une direction bien perpendiculaire à la corde, comme pour tirer un son plein et nettement prononcé. On peut à volonté laisser subsister ou supprimer les trois autres cordes, qui ne contribuent en rien à l'effet.

On entend aussi l'octave 2 et même la double octave 4 du son principal; mais il faut plus d'attention pour les distinguer, parceque les sons placés à l'octave l'un de l'autre, approchent beaucoup plus de se confondre pour l'oreille.

Nous avons donc la suite 1, 2, 3, 4, 5 qui représente les

différens sons sensibles pour l'oreille, dont est composée l'harmonie d'un seul son.

487. Mais une autre expérience nous porte à croire que ce ne sont ici que les premiers termes de la véritable série qui s'étend indéfiniment. Car, si à côté d'une première corde on en dispose d'autres, dont les nombres de vibrations, qui répondent à une seule vibration de la première, soient 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, etc.; et si l'on fait résonner la première corde seule, toutes les autres frémiront et résonneront en même temps, quoique beaucoup plus faiblement. On peut rendre leur frémissement sensible à l'œil, en plaçant sur chacune d'elles un petit chevalet de papier que l'on verra s'agiter, ou même sauter en bas, au moment où l'on pincera la corde principale.

Si les diamètres des différentes cordes sont égaux entre eux, et qu'il y ait de même égalité entre les tensions, les longueurs des cordes que la première fera résonner, en y comprenant l'unisson, devront être, d'après ce qui a été dit, comme les nombres 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, etc. Nous supposerons à l'avenir, pour plus grande simplicité, que les cordes ne varient que suivant leur longueur.

Or, puisque les premiers sons de la série se distinguent immédiatement dans la résonnance d'une corde que l'on fait vibrer toute seule, il n'y a pas lieu de douter que les suivans n'y soient pareillement renfermés; et si l'organe ne les saisit pas sans intermédiaire, c'est qu'ils sont tellement affaiblis qu'ils échappent à son attention; sur quoi nous remarquerons que, dans certains cas, avec une seule corde, on parvient même à démêler l'impression du son représenté par 7.

On a donné le nom de *son générateur* au son principal, et les sons plus faibles qui l'accompagnent ont été appelés ses *harmoniques*.

488. Quelques physiciens ont pensé que la corde principale se soudivisait en parties aliquotes, semblables à celles qui représentaient les longueurs des autres cordes; ensorte que le son rendu par chacune de celles-ci, était produit, comme unisson, par la partie aliquote qui lui répondait dans la corde principale.

Mais ni l'observation ni le calcul n'indiquent cette soudivision de la corde génératrice. Tout ce que l'on peut conclure des expériences citées, c'est que les vibrations d'une corde sonore ont la propriété d'exciter dans l'air, non seulement des vibrations du même ordre, mais d'autres vibrations de différens ordres plus élevés, analogues à celles que les harmoniques y produiraient, si chacun d'eux était rendu par une corde distincte.

489. On pourrait croire encore que, quand on emploie une seule corde, la résonnance des harmoniques provient des corps environnans, dont les fibres se trouvent à leur unisson ; par exemple, de celles du bois même sur lequel la corde est tendue, et avec lesquelles cette corde est censée communiquer ; ensorte que celle-ci commencerait à agir sur les fibres dont il s'agit, et que ces fibres, à leur tour, produiraient dans l'air les vibrations analogues à la résonnance des harmoniques. Mais nous avons fait l'expérience en plein air, et de manière que les points d'attache n'avaient aucune élasticité sensible, et nous avons entendu encore la résonnance des premiers harmoniques ; d'où il faut conclure que la corde a, par elle-même, la propriété d'exciter dans l'air les vibrations qui les produisent, et que ce sont ces vibrations qui font ensuite frémir et résonner les corps environnans.

490. En partant des faits que nous venons d'exposer, on conçoit pourquoi, lorsqu'on chante dans nn lieu où il se tronve des corps susceptibles de rendre des sons appréciables, comme des vases de verre ou de métal, chacun de ces corps résonne, lorsque la voix fait entendre son unisson, ou même lorsqu'elle rend un son qui est à celui que le même corps rendrait par la percussion, comme le son générateur est à l'octave de sa quinte, ou à la double octave de sa tierce. Ces différens effets sont très-sensibles, lorsqu'on rend un son avec la voix, en présentant la bouche à l'ouverture d'nn verre ordinaire. La résonnance la plus marquée est celle de l'unisson, et l'on cite des chanteurs, doués d'une voix juste et en même temps très-forte, qui, en prenant ainsi l'unisson d'un verre,

parvenaient à le casser. Le changement de figure qu'éprouvent, dans ce cas, les différens anneaux qui composent le verre, est si considérable, que les parties n'ayant pas la flexibilité nécessaire pour s'y prêter assez promptement, se séparent à différens endroits, comme dans le cas où le verre aurait subi une forte percussion.

Expérience de Tartini.

491. Tout ce que nous venons de dire nous conduit à parler d'une autre expérience, connue sous le nom d'*expérience de Tartini*; elle consiste à faire entendre à la fois deux sons forts, justes et soutenus; il résulte de leurs concours un troisième son plus faible, et qui est tel, selon ce célèbre musicien, que si l'on représente le rapport entre les deux premiers sons par les nombres les plus simples, le son produit sera représenté par 2. Si les deux sons dont il s'agit ont, par exemple, pour expressions les nombres 8 et 9, auquel cas leur accord donnera une dissonance semblable à celle qui résulte des sons *ut*, *re*, le son produit étant 2, répondra à la double octave en dessous de l'*ut* de la dissonance.

En général, il ne faudra que transporter à l'octave l'un des sons de l'accord, ou tous les deux, pour qu'ils soient compris dans la série des harmoniques, dont le troisième son serait le son fondamental; ce qui peut servir à lier cette expérience avec celle de la triple résonnance d'une corde vibrante, dont elle offre en quelque sorte l'inverse.

Des Sons harmoniques.

492. Nous citerons une troisième expérience très-curieuse, qui se trouve indiquée dans Wallis, mais qui était oubliée, lorsqu'elle s'offrit aux observations de Sauveur, qui a passé depuis pour en être l'inventeur : voici le détail de cette expérience.

Si l'on tend une corde sur une planche, et qu'on la partage

en deux portions inégales et commensurables entre elles, au moyen d'un obstacle léger qui ne la presse que médiocrement, ces deux parties étant pincées successivement, rendront le même son, qui sera différent de celui de la corde entière : et tel sera ce son, que si l'on représente par les nombres les plus simples le rapport entre les longueurs des deux parties de la corde, le son qu'elles feront entendre sera celui d'une corde qui aurait l'unité pour expression. Ainsi, en supposant la corde divisée en deux parties, qui fussent entre elles comme 3 à 2, auquel cas les sons correspondans seraient dans le rapport d'*ut* à *sol*, en montant, si les longueurs des deux parties déterminaient leur résonnance, le son rendu par chaque partie sera celui de la corde 1, c'est-à-dire, le *sol* à l'octave aigu du son que rendrait la plus petite partie dans le cas ordinaire. On a donné le nom de *sons harmoniques* à ceux qui résultent de cette division d'une corde vibrante.

Si l'on observe attentivement la même corde, tandis qu'elle est en vibration, on remarque que chaque partie se soudivise en autant de portions égales, que le nombre qui lui correspond renferme d'unités. Ainsi, entre deux soudivisions voisines, il y a un point de repos ou un nœud, et au milieu de la même soudivision, l'ondulation forme un ventre, comme dans une corde qui vibre toute entière. Dans l'exemple précédent, la plus grande partie se soudivise en trois, et la plus petite en deux, de sorte que le son *ut* est rendu à-la-fois par toutes les soudivisions qui se trouvent ainsi à l'unisson l'une de l'autre. On voit aisément que la plus petite partie ne doit pas se soudiviser, lorsque le son, qui lui est analogue, a lui-même l'unité pour expression ; alors c'est ce même son que fait entendre la plus petite partie, ainsi que chacune des soudivisions de la plus grande.

Tel est donc le mécanisme d'où dépend la série d'unissons donnée par l'expérience dont il s'agit, que l'obstacle léger qui partage la corde, empêche seulement les vibrations totales, mais laisse subsister une communication, une dépendance mutuelle entre les deux parties, dont les vibrations tendent par là

même à s'accorder parfaitement entre elles, c'est-à-dire, à devenir isochrones. En conséquence, elles sont forcées de se soudiviser, mais elles le font le moins qu'il est possible ; de manière que le nombre des soudivisions est toujours le plus petit, parmi tous ceux qui donneraient pareillement l'isochronisme.

Ainsi, dans l'exemple précédent, si la corde 2 faisait des vibrations totales, les deux tiers de la corde 3 pourraient bien se mettre à l'unisson avec elle ; mais il resterait un tiers qui ferait ses vibrations séparément : or, c'est ce tiers qui étant seul propre à déterminer l'isochronisme, donne la loi à tout le reste.

493. Sauveur rendait sensible à l'œil la distinction des nœuds et des ventres, en plaçant à l'endroit de chaque nœud un chevron de papier blanc, et un autre de papier coloré à l'endroit de chaque ventre. Au moment où la corde entrait en vibration, on voyait tomber tous les chevrons colorés, tandis que les blancs restaient à leur place. Cette expérience réussit bien, à l'aide d'une corde de violon, que l'on partage par un chevalet de carton, après l'avoir tendue sur une planche, et que l'on fait vibrer, en passant légérement l'archet près du chevalet de bois sur lequel repose l'une ou l'autre des extrémités de cette même corde.

Réflexions sur l'Echelle diatonique des Modernes.

494. La première des expériences que nous venons de citer, ou celle qui consiste dans la triple résonnance d'une corde vibrante, nous fournit quelques réflexions sur la formation de notre échelle diatonique, composée des sons *ut*, *re*, *mi*, *fa*, etc., et qui est connue de tout le monde.

Si l'on désigne toujours par l'unité le premier son *ut*, la série des 8 sons sera exprimée par celle des nombres

1,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{15}{9}$,	$\frac{15}{8}$,	2.
ut	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*ut* ;

c'est-à-dire, que si l'on faisait vibrer des cordes dont les lon-

gueurs fussent propres à donner les nombres de vibrations qui répondent aux termes de la série précédente, on aurait une suite de sons qui représenterait très-sensiblement notre gamme, telle que chacun l'a, pour ainsi dire, dans l'oreille et l'exécute par le chant. Cette gamme est très-ancienne, et en remontant jusqu'aux siècles de la Grèce, où le goût pour les arts était si délicat, on trouve que les deux tétracordes, qui formaient l'échelle musicale de ce temps, avaient leurs sons précisément dans les mêmes rapports que ceux de la nôtre.

Or il est remarquable que la gradation des sons dans ces deux échelles, se trouve soumise au principe de la plus grande simplicité dans les rapports qui les déterminent; et ce principe paraît avoir été le guide secret dont l'oreille a suivi l'indication. Pour le concevoir, observons qu'en prenant les sons qui donnent deux, trois, quatre et cinq vibrations, contre une seule du son fondamental, nous aurons successivement l'octave de ce son, puis l'octave de sa quinte, ensuite sa double octave, et enfin la double octave de sa tierce; c'est-à-dire, que nous aurons l'harmonie des sons, qui seuls résonnent sensiblement lorsqu'on fait vibrer une corde isolée. Or l'octave, la quinte et la tierce sont les consonnances les plus parfaites, et toute notre échelle diatonique porte sur ces consonnances. Car en premier lieu, nous avons dans cette gamme l'accord *ut*, *mi*, *sol*, qui est donné immédiatement par la triple résonnance du corps sonore, excepté que le *sol* et le *mi* s'y trouvent transportés l'un à l'octave et l'autre à la double octave en dessous de l'harmonique correspondant, ce qui est toujours permis, à cause de la grande ressemblance entre un son et son octave. Transportons maintenant le *fa* et le *la* de la gamme à l'octave en dessous; si nous joignons l'*ut* fondamental à ces deux sons, nous aurons un nouvel accord *fa*, *la*, *ut*, entièrement semblable à l'accord *ut*, *mi*, *sol*. Enfin, si nous transportons le *re* à l'octave en dessus, nous aurons, en lui réunissant les sons *sol* et *si*, un troisième accord *sol*, *si*, *re*, qui de même représente exactement l'accord *ut*, *mi*, *sol*. Voilà donc tous les sons de la gamme distribués entre trois accords composés d'une

tierce et d'une quinte, et tellement liés entre eux, que le son fondamental de chacun est la quinte au grave ou à l'aigu de celui d'un autre ; ensorte qu'en partant du *fa* pris en dessous de l'*ut* fondamental de la gamme, on a cette suite, *fa*, *la*, *ut*, *mi*, *sol*, *si*, *re*, qui forme un enchaînement de tierces et de quintes. Ainsi, notre gamme est limitée aux combinaisons que donnent les sons représentés par les cinq premiers nombres naturels ; tous les autres se trouvent exclus, sur quoi Léibnitz disait assez plaisamment, que *l'oreille ne comptait que jusqu'à cinq.*

495. D'une autre part, quelques savans ont pensé qu'il y avait une autre gamme préférable à la precédente, et dont l'adoption éleverait la musique à son vrai point de perfection. Voici l'observation sur laquelle ils se fondent.

Si dans la série des harmoniques donnés par les différentes cordes qui résonnent à côté d'une première corde que l'on a mise en vibration, on prend ceux qui répondent aux fractions $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{11}$, etc., jusqu'à $\frac{1}{16}$ inclusivement ; on aura une suite de sons semblable à la gamme ordinaire, excepté que le *fa* et le *la* seront un peu plus haut que dans cette gamme ; de plus, l'harmonique $\frac{1}{13}$ donnera un son surnuméraire entre le *sol* et le *la*.

Les savans dont il s'agit, ont pensé que la véritable gamme devait être cette dernière, parcequ'elle était donnée immédiatement par la nature, et que si l'oreille paraissait blessée par l'intonation des sons *fa* et *la*, lorsque cette gamme était rendue par un instrument propre à cet effet, tel que le cor de chasse, c'était la suite d'un préjugé de cet organe gâté par l'habitude, et dont il parviendrait à se désabuser, en se familiarisant avec l'autre, et en laissant agir la nature, qui bientôt reprendrait tous ses droits.

Cependant la raison qui se tire de la simplicité des rapports paraîtra l'emporter, si l'on considère que cette simplicité est liée avec la facilité de percevoir les intervalles entre les sons, laquelle influe à son tour sur le plaisir de l'oreille. C'est pour cela que l'octave est l'accord qui plaît le plus générale-

ment, et qu'ensuite l'accord parfait, composé de la quinte et de la tierce, trouve un accès si facile dans toutes les oreilles qui ne sont pas sauvages à l'égard de l'harmonie. Or c'est dans cet accord et dans celui d'octave, ainsi que nous l'avons vu, qu'est puisée notre gamme. On s'est arrêté à ces limites, par une espèce d'instinct, et antérieurement à toute étude des propriétés harmoniques du corps sonore. Ce n'est pas que l'oreille compare des nombres; cette comparaison est uniquement du ressort de l'esprit; mais la simplicité de ces nombres tient à un effet physique; savoir, la fréquence des rentrées que font les vibrations des sons comparés, lequel effet semble trouver dans l'organe meme une disposition en vertu de laquelle il s'accommode mieux de ce qui est plus simple, parcequ'il a moins à travailler pour le saisir.

L'art, en prenant des intermédiaires entre les sons suggérés par la nature, a répandu une grande variété dans les effets de l'harmonie et de la mélodie; et il est parvenu, par l'ingénieux enchaînement des dissonnances et des consonnances, à faire tourner au plaisir de l'oreille, ce qui ne semblait propre qu'à la chagriner.

Rameau a essayé de déduire les lois de l'harmonie de la triple résonnance des corps sonores. Tartini a cru en avoir trouvé l'origine dans l'expérience que nous avons citée sous son nom. Mais ces systèmes ne donnent que des convenances plus ou moins plausibles, et il y a des phénomènes d'harmonie avoués par l'oreille, qu'on ne peut y ramener.

Du Tempérament.

Tout ce qui a été dit précédemment, nous conduit à donner une idée de ce qu'on appelle *tempérament*.

496. Il résulte du principe d'après lequel notre gamme a été formée, que le son aigu de chacun des trois accords parfaits, dont elle est composée, fait une quinte juste avec le son fondamental de cet accord. Mais si l'on compare deux sons pris dans différens accords; savoir, le *re* et le *la*, qui forment

aussi une quinte, on trouvera ici une petite altération dans la justesse de cet intervalle. Car le rapport des deux sons dont il s'agit, est celui de $\frac{9}{8}$ à $\frac{15}{9}$, ou de 27 à 40, un peu plus fort que celui de 2 à 3, qui donne une quinte juste. Pour que le *la* fût avec le *re* dans le rapport de cette quinte, il faudrait que son expression devînt $\frac{27}{16}$. Donnons-lui, pour un instant, cette expression, et prenons au-dessus du même *la* un nouveau son *mi*, qui fasse aussi une quinte juste avec lui, on aura l'expression de ce *mi*, en multipliant $\frac{27}{16}$ par $\frac{3}{2}$, qui est le rapport de la quinte; ce qui donne $\frac{81}{32}$. Maintenant, s'il n'y avait aucune altération dans les intervalles, ce *mi* serait à l'octave juste de celui de la gamme, en allant du grave à l'aigu. Mais il n'en est pas ainsi; car si nous élevons ce dernier *mi* d'nne octave, son expression, qui était $\frac{5}{4}$, deviendra $\frac{10}{4}$, ou $\frac{80}{32}$, moindre que $\frac{81}{32}$, dans le rapport de 80 à 81. Il suit de là que le *mi* exprimé par $\frac{81}{32}$, ne sera pas non plus à la tierce de l'*ut*, dont l'expression est 2; le rapport entre cet *ut* et le *mi* dont il s'agit, ramené à sa plus grande simplicité, est celui de 64 à 81, un peu plus fort que celui de 1 à $\frac{5}{4}$, ou de 64 à 80, qui a lieu pour l'*ut* et le *mi* de la gamme.

Sans entrer ici dans un plus grand détail, il nous suffira de dire, en général, que de ces trois intervalles, l'octave, la quinte et la tierce, on ne peut conserver l'un dans toute sa pureté, sans altérer les deux autres; et il en résulte une difficulté qui a été sentie depuis long-temps, relativement à la manière d'accorder les instrumens à cordes, où chaque touche répond à un son dont le degré est déterminé par l'opération même. On a imaginé, en conséquence, diverses méthodes, pour trouver ici un *tempérament*, c'est-à-dire, pour combiner les altérations de manière que l'harmonie n'en souffrît pas sensiblement; et toutes ces méthodes conviennent en ce point, qu'il est indispensable de conserver la justesse des octaves, en sacrifiant plutôt quelque chose de celle des quintes et des tierces, parcequ'il en est à-peu-près de l'octave comme de l'unisson, qui, par sa grande simplicité, est si agréable à l'oreille qu'elle ne peut y tolérer le moindre défaut de précision; elle

ne relâche quelque chose de sa sévérité, qu'à l'égard des intervalles moins simples ; et dans ce cas elle supplée à ce qui leur manque, et suppose nulles des différences qu'elle n'apprécie pas.

497. Rameau, après avoir varié sur le choix du meilleur tempérament, a fini par adopter celui dans lequel toutes les quintes se trouveraient également altérées, attendu qu'il n'y avait pas de raison pour altérer l'une plutôt que l'autre. On a trouvé que dans ce système les tierces devenaient dures et choquantes, et l'on a généralement admis la méthode à laquelle Rameau lui-même avait d'abord donné la préférence, et qu'il a ensuite abandonnée. Dans les instrumens accordés par cette méthode, les quintes données par les tons naturels de la gamme conservent presque entièrement leur harmonie ; les différences les plus sensibles portent sur les demi-tons intermédiaires ; les musiciens ont pris dans la série des quintes, certaines notes qui leur servent à vérifier de temps en temps leur opération, d'après la justesse de quelqu'autre accord, tel que celui de tierce, que chacune de ces notes doit faire avec une des notes déjà accordées. Il résulte de là une grande diversité dans les altérations qu'ont subies les intervalles de quinte et de tierce qui partagent la série des différens sons, et l'on a même regardé cette diversité comme un avantage ; car, suivant que l'on choisit tel son de préférence pour note tonique, c'est-à-dire, pour celle à laquelle se rapportent toutes les autres, ensorte que la modulation repose, pour ainsi dire, sur cette note comme sur une base, les quintes et les tierces que parcourt le chant ont quelque chose de sombre, qui est propre à inspirer la tristesse, ou je ne sais quoi d'exalté qui excite la joie. Ainsi, la modulation emprunte de la seule manière dont les intervalles qu'elle emploie ont été altérés, une teinte du caractère qu'elle porte par elle-même ; et ce qu'on aurait été tenté de regarder comme un défaut, devient, pour le musicien, un moyen d'ajouter à l'expression du sentiment qu'il cherche à peindre.

Théorie de la Propagation du Son.

Il nous reste à établir la théorie des différens phénomènes que présente l'expérience, relativement à la propagation du son, et à expliquer comment le son conserve une vîtesse uniforme, depuis le corps sonore jusqu'à l'organe, quoiqu'il perde continuellement de sa force; comment les sons aigus et les sons graves, les sons forts et les sons faibles ont la même vîtesse dans leur course; comment enfin différens sons simultanés se croisent dans l'air sans se confondre, et apportent à l'oreille leur harmonie dans toute sa netteté.

Cette théorie se déduit de la manière dont le son se forme dans les instrumens à vent, et nous l'avons tirée d'un excellent Mémoire, où Daniel Bernoulli l'a développée et soumise au calcul (1). Nous allons essayer de rendre le plus clairement possible les idées de ce célèbre géomètre.

498. Concevons d'abord un tuyau cylindrique bouché par un bout, et que l'on fasse résonner en soufflant par l'orifice ouvert. L'air renfermé dans ce tuyau se mettra en vibration, de manière que chacune des couches infiniment minces qui composent la colonne de ce fluide s'approchera et s'éloignera tour à tour du fond, en allant et en revenant de part et d'autre de la position qu'elle avait dans l'état de repos, par de petits mouvemens d'oscillation semblables à ceux d'un pendule simple. Les oscillations iront en croissant d'une couche à l'autre, depuis le fond où elles seront nulles, jusqu'à l'ouverture où se trouveront les plus grandes. Celles de chaque couche seront isochrones, et celles des différentes couches seront synchrones, c'est-à-dire, qu'elles commenceront et finiront toutes en même temps, sans quoi elles ne pourraient former un son.

Tandis que les différentes couches auront un mouvement progressif vers le fond, la couche qui était à l'orifice entrera dans le tuyau, où elle condensera la couche voisine, et ainsi

(1) Mémoires de l'Acad. des Sciences, 1762, p. 431 et suiv.

de

de suite, de manière que la condensation ira toujours en croissant jusqu'au fond, où elle sera la plus grande, parcequ'elle résultera du concours de toutes les actions des couches postérieures. Dans le retour vers l'orifice, il sortira, au contraire, du tuyau une petite portion de l'air qui y était renfermé pendant l'état de repos, et les différentes couches subiront de petites dilatations qui iront en diminuant depuis le fond; d'où l'on voit que l'air situé à l'orifice ne sera ni condensé ni dilaté, mais conservera la même densité que l'air environnant.

499. Voilà ce qui a lieu pour les tuyaux bouchés par un bout. Il s'agit maintenant d'appliquer cette hypothèse aux vibrations de l'air dans un tuyau ouvert par les deux bouts. Or, la seule idée qui s'accorde avec les lois de la mécanique et avec l'observation, consiste à suppôser, par la pensée, que le tuyau soit divisé en deux moitiés à l'aide d'une cloison, comme s'il était composé de deux tuyaux bouchés d'un côté et réunis par leur fond, et que tout se passât dans chacun d'eux conformément à l'hypothèse précédente. Il en résulte que la couche d'air située à l'endroit de la cloison, ou, pour mieux dire, qui en fait l'office, sera immobile, et que toutes les autres couches feront des oscillations qui iront de part et d'autre en croissant, suivant la loi que nous avons exposée.

500. Reste à considérer le cas d'un tuyau fermé par les deux bouts, qui n'a point lieu dans la pratique, mais qui est nécessaire pour la théorie. Si l'on suppose que l'air intérieur soit mis en vibration par une cause quelconque, on pourra concevoir chaque moitié comme un tuyau fermé seulement par un bout, et dans lequel les oscillations seront les mêmes que pour cette dernière espèce de tuyau, mais de manière qu'elles se feront toutes du même côté, depuis un fond jusqu'à l'autre; et ainsi, tandis que les couches renfermées dans une moitié s'y condenseront en s'approchant du fond qui la termine, les couches de l'autre moitié se dilateront, en allant dans le même sens que les premières, et la densité de la couche du milieu sera constante.

On voit que les deux derniers cas ne sont que des conséquences de l'hypothèse faite par rapport au premier; et si

cette hypothèse s'adapte comme d'elle-même aux différens faits donnés par l'expérience, on ne pourra se refuser à la regarder comme infiniment probable.

501. Or on sait d'abord qu'un tuyau ouvert des deux côtés, rend le même degré de son qu'un tuyau bouché d'un seul côté, et qui n'a que la moitié de la longueur du premier. C'est une suite nécessaire des principes de la théorie, puisque dans le tuyau ouvert par les deux bouts, il y a un repos au milieu; ensorte que les deux moitiés sont à l'unisson, et que les oscillations de l'air dans chacune d'elles sont parfaitement semblables, soit entre elles, soit à celles qui ont lieu dans le tuyau fermé par un bout.

502. Dans certains instrumens à vent, tels que le cor de chasse, la trompette, où le jeu des doigts n'entre pour rien, la différence des tons dépend de la manière d'augmenter ou de rétrécir l'ouverture des lèvres, suivant qu'on veut obtenir un son plus grave ou plus aigu. Le musicien saisit le degré de cette ouverture, par le sentiment qu'il a du ton qu'il veut faire naître; mais tous les tons ne se prêtent pas à sa volonté. L'instrument ne lui obéit qu'autant qu'il ne veut que ce qui est dans sa nature. En conséquence, si l'on représente par 2 le son principal, le musicien ne pourra faire produire à l'instrument que les sons qui répondent aux nombres 4, 6, 8, 10, etc.

503. Or, pour expliquer ce progrès déterminé de sons successivement plus aigus, il ne faut que considérer l'instrument comme un tuyau ouvert par les deux bouts. Dans le cas du son fondamental représenté par 2, tel est le degré de pression que le musicien donne à ses lèvres, que l'ordre de vibrations qui en résulte se développe dans une étendue égale à la moitié du tuyau: là il se forme une cloison d'air stationnaire, ou un nœud, passé lequel les mêmes vibrations recommencent en sens contraire.

Le musicien augmente-t-il la pression de ses lèvres jusqu'au degré qui répond à l'octave en dessus du son fondamental? le nouvel ordre de vibrations relatif à ce son n'occupera plus que la moitié de l'étendue du précédent: il y aura un premier repos

au quart du tuyau, puis un second aux trois quarts; ensorte que la première et la dernière partie représenteront un tuyau bouché par un bout, et la partie intermédiaire un tuyau fermé par les deux bouts, mais d'une longueur double; et ainsi l'ensemble équivaudra à quatre tuyaux bouchés par un bout, qui seront tous à l'unisson, et dont chacun rendra le son 4.

504. Dans les sons plus élevés, le tuyau se partagera successivement en 6, 8, 10 parties égales que l'on pourra comparer à autant de tuyaux bouchés par un bout. Les tuyaux extrêmes seront seuls, et les intermédiaires s'aboucheront deux à deux, pour composer des tuyaux fermés par les deux bouts, et doubles des tuyaux extrêmes. Il y aura donc un nœud à l'endroit de chaque cloison, et un ventre au milieu de la distance entre deux cloisons voisines. Les vibrations qui auront leur origine à un même nœud, se feront de part et d'autre par des mouvemens contraires, mais elles auront lieu dans le même sens des deux côtés d'un même ventre.

Le musicien tentera inutilement de tirer de l'instrument quelque autre son, dont le degré ne se trouverait pas sur l'échelle de cette loi; ou s'il y parvient, ce ne sera que par un artifice particulier, qui produira le même effet que si la forme de l'instrument était changée, comme lorsque celui qui joue du cor de chasse met la main dans le pavillon.

505. Une nouvelle expérience, qui confirme la théorie, consiste à percer dans un tuyau sonore un trou latéral situé à l'endroit d'un nœud : quoiqu'on laisse ce trou ouvert, le son restera le même; mais si le trou est placé ailleurs, le degré du son montera, parceque l'air n'étant pas en repos dans cet endroit, une partie se répandra au dehors par l'effet des vibrations qui, éprouvant moins d'obstacle que quand le tuyau n'était point percé, accéléreront leur mouvement. Ceci peut servir à faire concevoir en général le principe auquel se rapporte la construction des flûtes et autres instrumens semblables, dont on tire différens tons, suivant que l'on ferme ou que l'on ouvre de préférence certains trous.

506. Les oscillations que le son excite dans les tuyaux co-

niques diffèrent, à quelques égards ; de celles qui ont lieu dans les tuyaux cylindriques. Ce qu'elles ont surtout de particulier, consiste en ce que les ébranlemens de l'air dont elles dépendent vont toujours en diminuant depnis le sommet; ensorte que les excursions des différentes couches sont elles-mêmes toujours plus petites, et suivent la raison inverse de la distance au sommet.

Mais cette différence n'altère ni la distance entre les ventres, qui est partout la même, ni la durée des vibrations, qui conservent aussi partout leur isochronisme.

507. Appliquons maintenant cette théorie à la propagation du son. Dans chaque rayon sonore, qui est, comme nons l'avons dit, un cône d'air infiniment mince, tout se passe comme dans un tuyan conique où l'air fait ses vibrations, c'est-à-dire, qu'il y a successivement des nœuds, et des points anxquels répondent les plus grandes excursions.

Comme il y a un ventre à l'origine du cône, et que tous les ventres sont également éloignés, nous pouvons partager, par la pensée, le cône entier en une suite de cônes tronqués, égaux en longueur, dont chacun aura deux ventres à l'endroit de ses bases, et un nœud situé vers le milieu. Bernoulli donne à ces cônes le nom de *concamérations*.

508. Au moment où le corps sonore sera mis en vibration, tout l'air ne sera point ébranlé à la fois dans chacnn des cônes qui ont leurs sommets anx différens points de ce corps ; il ne le sera d'abord que dans la première concamération : quand celui-ci aura fait une oscillation, il commencera à ébranler l'air de la seconde concamération ; et au bout d'une nouvelle vibration, l'air sera ébranlé dans la troisième, et ainsi de suite. On voit par là, pourquoi la propagation du son n'est pas instantanée, mais exige un certain temps qui devient toujours plus considérable, à mesure que la distance elle-même augmente.

Les oscillations qui ont lieu dans les différentes concamérations successives, sont parfaitement isochrones. De plus, toutes les concamérations sont égales en longueur. Donc le son doit parcourir, avec une vîtesse uniforme, la suite de toutes ces concamérations, ce qui était encore un des effets à expliquer.

Mais à mesure que les concamérations s'éloignent du sommet, les ébranlemens de l'air qui produisent les petites oscillations partielles dont chaque oscillation totale est composée, vont en diminuant, tandis que l'isochronisme subsiste toujours; d'où il suit qu'à une plus grande distance l'organe sera plus faiblement ébranlé, et le son moins entendu, ensorte que dans un certain éloignement, il finira par s'éteindre.

509. Que le son soit fort ou faible, la durée des vibrations et la longueur des concamérations resteront les mêmes, parceque c'est le degré seul du son qui détermine l'une et l'autre, ainsi qu'il est facile de le conclure, de ce que le ton rendu par un tuyau est le même, quelle que soit la force du souffle qui met l'air en vibration, pourvu que l'ouverture des lèvres soit aussi la même.

510. Si l'on suppose deux sons à l'octave l'un de l'autre, qui se fassent entendre successivement ou à la fois, les concamérations relatives au son aigu seront une fois plus courtes que celles qui répondent au son grave; il y en aura donc une fois plus dans un espace donné. Mais les oscillations de l'air s'y acheveront dans un temps une fois plus court, d'où il suit qu'elles emploîront le même espace de temps pour se propager à la même distance; et ainsi le degré du son n'influe pas sur sa vîtesse, ce qui s'accorde de même avec l'observation.

De la Manière dont les Sons simultanés se propagent sans se confondre.

511. Ce que nous venons de dire regarde les sons solitaires. Mais lorsque plusieurs corps vibrent en même temps; lorsque dans un concert, par exemple, plusieurs instrumens et plusieurs voix rendent à la fois des sons de divers degrés, comment arrive-t-il que les différentes vibrations qui en résultent, se rencontrent en passant à travers l'air, sans se détruire ou se dérouter par leur choc mutuel, et que chacune d'elles continue ensuite son trajet vers l'oreille, comme si elle eût trouvé le passage libre?

Les physiciens modernes ont essayé de résoudre cette difficulté, en adoptant l'idée de Mairan, qui supposait l'air formé de particules d'une infinité de grosseurs différentes, dont chacune n'était capable que de recevoir et de transmettre les vibrations relatives à un ton particulier. Ainsi, lorsque plusieurs sons concouraient dans une même harmonie, ou de toute autre manière, chacun d'eux ne s'adressait qu'aux particules qui étaient à son unisson, et exerçait sur elles une action indépendante de celle que subissaient les molécules d'un diamètre différent. Mais sans recourir à cette supposition gratuite, qui, pour débrouiller un effet compliqué, emploie une complication d'un autre genre, et n'écarte la difficulté qu'en la transportant ailleurs; nous trouvons, dans la théorie même que nous avons exposée, une manière satisfaisante d'expliquer la distinction des sons simultanés.

512. Cette explication tient à l'observation générale, que tous les petits mouvemens qui ont des points de concours se superposent, en quelque sorte, les uns sur les autres sans se confondre. Pour éclaircir cette idée, considérons deux rayons sonores, qui se rencontrent sous deux directions différentes; le mouvement se composera dans le petit espace où ils se croiseront, de manière que les petites oscillations qui ont lieu dans un rayon, donnant une légère impulsion à celles de l'autre rayon, produiront, dans les molécules situées au point de concours, d'autres oscillations en diagonale. Imaginons un observateur dont l'œil serait capable de saisir le progrès des oscillations, et supposons que cet œil fasse lui-même de petits mouvemens oscillatoires semblables à ceux que les molécules de l'un des deux rayons auraient faits sur le côté analogue du parallélogramme, dont la diagonale est décrite en vertu du mouvement réel. Cet œil verra osciller les molécules qui suivent ce dernier mouvement, comme si elles étaient mues dans la direction de l'autre côté du parallélogramme, c'est-à-dire, que l'œil ayant lui-même un des mouvemens qui se composent dans la diagonale, et ce mouvement étant censé détruit à son égard, il ne recevra que l'impression de l'autre mouvement. Or il est

aisé d'en conclure que les molécules d'air situées au-delà du concours des deux rayons, auxquelles le mouvement qui existe seul pour l'observateur se serait communiqué, s'il n'y avait là que le rayon sonore dirigé suivant ce mouvement, ne laisseront pas de le recevoir encore, puisqu'elles sont sur la direction où les vibrations qui se font dans la diagonale doivent, en se décomposant, produire ce même mouvement. On peut appliquer ce raisonnement à l'autre rayon sonore, d'où l'on voit que les vibrations, après s'être confondues dans un espace presque infiniment petit, doivent se démêler ensuite, et reprendre leur premier alignement, comme si elles n'avaient eu rien de commun (1).

513. C'est par un mécanisme du même genre que les petites oscillations successives qui se produisent dans l'eau, où l'on a jeté plusieurs pierres, passent l'une sur l'autre sans se confondre, et produisent des circonférences qui s'entrecoupent. La même chose n'a pas lieu dans les grands mouvemens, où

---

(1) Pour répandre un nouveau jour sur cette explication, concevons que *ac*, *bc* (*fig.* 44), représentent les directions de deux rayons sonores qui se croisent au point *c*, et que *mc*, *hc* mesurent les étendues des petites oscillations qui ont lieu près du point de concours. Les mouvemens dus à ces oscillations se composent dans le même point, de manière que le mouvement unique qui en résulte se transporte aux molécules situées immédiatement au-dessous de *c*, et y fait naître d'autres oscillations dans le sens de la diagonale *cr* d'un petit parallélogramme *cnrs*, déterminé par les lignes *cn*, *cs*, situées sur les prolongemens des lignes *hc*, *mc*, et égales à ces dernières. Maintenant les oscillations en diagonale se résolvent au point *r* en deux mouvemens, dont tel est l'effet, que les molécules situées sur les lignes *rt*, *ru*, parallèles l'une à *bc*, et l'autre à *ac*, sont sollicitées elles-mêmes à faire de petites oscillations égales aux premières, dans le sens des mêmes lignes *rt*, *ru*. Or, l'espace dans lequel tous ces mouvemens s'exécutent étant presque infiniment petit, les lignes *rt* et *ru* sont sensiblement sur les mêmes directions que les lignes *bc* et *ac*; ensorte que les oscillations qui ont lieu dans le sens de ces dernières lignes sont censées se propager, dans leurs prolongemens, au-delà du point de concours *c*. Ainsi les résultantes de tous les petits mouvemens décomposés peuvent être considérées comme des lignes infiniment petites ou de simples points, qui ne font que transmettre ces mouvemens, sans en altérer les directions.

les molécules situées au point de concours, recevant de fortes impulsions en différens sens, sont emportées à leur tour par un mouvement qui les écarte totalement de leurs premières directions.

514. Tel est le terme où nous conduit la théorie : mais ce qui reste inexplicable, c'est cette espèce de souplesse de l'air, pour prendre, en quelque sorte, l'empreinte des différens caractères dont un même ton est susceptible, à raison de la diversité des corps qui le rendent, et pour se modifier de tant de manières en portant à l'oreille les sons tendres et veloutés de tel instrument, les sons plus mâles et plus vigoureux de tel autre, et les accens infiniment variés de la voix humaine. On ne sait lequel on doit plus admirer, ou la nature du fluide qui remplit ces différens messages avec une fidélité si exacte, jusque dans les moindres détails, ou celle de l'organe qui discerne tout avec une si grande finesse de tact, et renferme dans ses fibres les unissons de tant de nuances particulières.

VI. DE L'ÉLECTRICITÉ.

515. L'ÉLECTRICITÉ est une des branches de nos connaissances que les physiciens modernes aient cultivée avec le plus d'assiduité et de succès. Elle n'était encore connue, au commencement du siècle dernier, que par les attractions et les répulsions que le verre, le succin (1), les résines et autres substances semblables exerçaient sur les corps légers que l'on présentait à leur action, et par une faible lueur que le frottement dégageait de ces substances. Environ 30 ans après, les recherches de Dufay et de Grey, amenèrent une de ces époques fécondes, où une science commence à se développer par un progrès rapide, et où les découvertes semblent se pres-

(1) Le nom d'*électricité* a été emprunté du mot *electrum*, par lequel les anciens désignaient le succin, appelé aussi *ambre jaune*.

ser à la suite les unes des autres. Un examen plus attentif des phénomènes, conduisit à établir la distinction importante entre les corps qui transmettent le fluide électrique, et ceux qui refusent de le progager : la construction des machines, mieux dirigée, donna de nouvelles facilités pour étudier ses différentes manières d'agir : une découverte imprévue fit ressentir aux êtres animés, l'énergie de ce pouvoir intérieur qu'il exerce sur eux, par le simple contact des vases où il s'accumule : enfin, les physiciens soupçonnèrent que ces phénomènes qu'on s'empressait d'aller voir, même par amusement, n'étaient qu'une imitation, en raccourci, des explosions de la foudre ; et, pour vérifier cette étonnante analogie, Francklin trouva, dans le pouvoir des pointes, le secret, non moins étonnant, de dérober la foudre elle-même au nuage qui la renfermait dans son sein, et de l'offrir à l'observation, sous la forme et avec tous les caractères du fluide mis en action par nos machines.

516. A mesure que les faits se multipliaient, on cherchait à en donner des explications et à en saisir la dépendance mutuelle. Dufay avait reconnu deux électricités différentes ; l'une qu'il appelait *vitrée*, parcequ'elle était produite par le frottement du verre ; l'autre qu'il nommait *résineuse*, parcequ'on l'excitait en frottant la résine et les autres substances analogues. Il remarqua que les substances animées d'une même espèce d'électricité se repoussaient, et attiraient celles qui possédaient l'autre espèce d'électricité. Cette idée, qui a été depuis reproduite par Symmer, et ramenée à l'hypothèse de deux fluides co-existans dans un même corps, était, pour ainsi dire, la clef de la véritable théorie. Francklin, en présentant les actions électriques sous un point de vue différent, par sa doctrine de l'électricité positive et négative, en fit une application très-heureuse à l'expérience de la bouteille de Leyde, dont il ramena la décharge à un simple rétablissement d'équilibre. Cette manière mécanique de concevoir un fait, qui tenait alors le premier rang parmi les merveilles de l'électricité, attira une foule de partisans au philosophe de Philadelphie. Æpinus, l'un

des plus distingués d'entre eux, en appliquant le calcul à sa doctrine, la rendit plus rigoureuse, et forma un ensemble mieux lié de toutes les observations déjà connues; lui-même découvrit plusieurs faits dignes d'attention, et il mérita ainsi doublement de la science, comme géomètre et comme physicien. Il la servait encore d'une autre manière, en préparant la voie à Coulomb, qui, après être parti du point où Æpinus s'était arrêté, a franchi seul une carrière toute nouvelle. Muni d'un appareil dont l'invention lui est due, et qui réunit au mérite de la simplicité, celui d'une précision jusqu'alors inconnue, il a déterminé, par des expériences décisives, la loi suivant laquelle varient les attractions et répulsions électriques, à raison de la distance; et cette loi s'est trouvée la même que celle de la gravitation universelle, découverte par Newton dans les espaces célestes. La théorie, établie ainsi sur une base solide, a été appliquée, par le même physicien, à la manière dont le fluide électrique se partage entre différens corps, et à d'autres effets qui n'avaient été qu'entrevus.

517. Tel était l'état de nos connaissances relativement à l'électricité, lorsque les expériences de Galvani appelèrent l'attention de toute l'Europe savante, sur des phénomènes très-remarquables par leur liaison intime avec les mouvemens de l'économie animale, et qui bientôt inspirèrent un surcroît d'intérêt par leurs rapports avec un des plus beaux résultats de la chimie moderne. La théorie avait besoin d'être agrandie, pour s'étendre à l'explication de ces nouveaux phénomènes; et il était réservé au célèbre Volta de reculer ici les limites de la science, par la découverte d'un principe qui avait échappé à la sagacité des physiciens.

1. De l'Électricité produite par le Frottement ou par la Communication.

Notions générales.

Avant d'entrer dans le développement de la théorie, nous rappellerons quelques notions qu'il est nécessaire d'avoir toujours présentes à l'esprit pour la bien concevoir.

Différence entre les Corps conducteurs et les Corps non conducteurs.

518. On distingue en général deux classes de corps, relativement à la communication du fluide électrique. Les uns, qu'on appelle *corps conducteurs*, tels que les métaux et les liquides, à l'exception de l'huile, transmettent plus ou moins facilement ce fluide aux autres corps de la même classe qui sont en contact avec eux. Les autres, qu'on a nommés *corps non conducteurs*, tels que le verre, le succin, le soufre, les résines, la soie, etc., retiennent le fluide comme engagé dans leurs pores, sans lui permettre de se répandre sur les corps environnans.

519. Nous devons à Grey et à Wheeler, la découverte de cette différence remarquable entre les corps relativement à la communication de l'électricité (1). Ces deux physiciens avaient pensé d'abord que tous les corps conduisaient indistinctement la vertu électrique; et pour essayer de la propager à une grande distance, ils avaient imaginé de soutenir une corde de chanvre qui devait servir de conducteur, sur un cordonnet mince de soie tendu horizontalement, dans la pensée

(1) Histoire de l'Electricité, par Priestley, t. I, p. 55.

que ce cordonnet ne laisserait échapper qu'un filet d'électricité, proportionné à la petitesse de son diamètre, ensorte qu'une grande quantité de fluide serait transmise par la corde de chanvre. Celle-ci avait quatre-vingts pieds de longueur, et passait sur le cordonnet, de manière qu'une de ses parties, longue seulement de quelques pieds, descendait verticalement, en portant une boule d'ivoire attachée à son extrémité. L'autre partie s'étendait le long d'une grande galerie, dans une direction horizontale, jusqu'à un tube de verre auquel on l'avait attachée. Pendant que l'un des physiciens frottait ce tube, l'autre voyait un duvet de plume, placé sous la boule, se porter vers elle par attraction, et en être aussitôt repoussé. Mais le cordonnet de soie s'étant rompu, Grey, qui n'en avait pas d'autre sous la main, y substitua un fil métallique, et depuis ce moment, tous les effets disparurent. Les deux physiciens comprirent alors, que l'obstacle qu'avait opposé le cordonnet de soie à la perte de l'électricité, dépendait, non pas de la finesse du couloir, mais de sa nature même; et ce qu'ils avaient regardé comme un accident, devint un bonheur dans leur esprit.

520. On dit d'un corps électrique qu'il est *isolé*, lorsqu'il a pour support un corps non-conducteur, ou qu'il est suspendu à un fil de soie. Cet isolement se pratique surtout à l'égard des corps conducteurs que l'on veut électriser, et dont on intercepte ainsi la communication avec d'autres corps conducteurs qui, par leur contact, dépouilleraient les premiers du fluide dont ils sont chargés.

521. Les corps non-conducteurs ont de plus cette propriété, que quand on frotte l'un d'entre eux, il se produit autour de lui un engagement de fluide électrique, susceptible de manifester sa présence. On a donné aussi aux corps non-conducteurs le nom de *corps idio-électriques*, c'est-à-dire, *électriques par eux-mêmes*, et aux corps conducteurs, celui de corps *anélectriques*, c'est-à-dire, *non-électriques*, si ce n'est par communication.

522. Au reste, il s'en faut de beaucoup qu'il y ait une

ligne nette de séparation entre les deux classes que forment les corps, relativement à la communication du fluide électrique. Outre qu'il n'est aucun corps qui soit, ou parfaitement idio-électrique, ou parfaitement conducteur, il existe entre ceux qui se rapprochent le plus des deux limites, une infinité d'intermédiaires, qui participent plus ou moins de la propriété idio-électrique et de la propriété conductrice. Il y a même telle espèce de corps, dans laquelle le rapport entre l'une et l'autre propriété varie très-sensiblement, suivant les circonstances; et souvent cette variation est due à un mélange de molécules conductrices, interposées entre celles d'un corps naturellement idio-électrique, ou réciproquement. Ainsi, l'air atmosphérique, qui, en le supposant très-sec, posséderait, dans un assez haut degré, la propriété idio-électrique, est souvent chargé de vapeurs aqueuses conductrices, qui lui font perdre de cette propriété, à proportion de leur abondance. C'est pour cette raison qu'un air humide est si peu favorable aux expériences électriques, parcequ'en s'emparant du fluide qui se dégage autour de l'appareil, il l'empêche de parvenir à ce degré d'accumulation, d'où dépendent à la fois et son énergie et le succès des expériences.

523. Nous ne devons pas omettre, que les corps conducteurs, lorsqu'ils sont isolés, acquièrent la propriété électrique, par le frottement d'un corps non-conducteur. Mais le fluide dont ils se chargent, dans ce cas, est fourni par le frottoir, ensorte que le corps conducteur ne fait autre chose que le recevoir par communication. Lorsque ce corps, n'étant pas isolé, subit de même le frottement d'un corps non-conducteur, il se fait aussi un dégagement de fluide qui est enlevé par le premier corps, mais qu'il transmet aussitôt aux corps environnans, avec lesquels il est en communication.

Idée de la Machine Electrique.

524. C'est sur les principes que nous venons d'exposer, qu'est fondée la construction de nos machines électriques. Dans

celle qui est aujourd'hui le plus en usage, l'électricité est produite par le frottement qu'exercent plusieurs coussins sur les deux surfaces d'un plateau de verre, fixé sur un axe auquel une manivelle que l'on fait jouer imprime un mouvement de rotation. Le fluide électrique, à mesure qu'il se dégage, est attiré par des pointes de fer situées horizontalement à une petite distance d'une des faces du plateau, et de là se répand sur la surface d'un cylindre de cuivre, auquel on a donné plus spécialement le nom de *conducteur*. Ce cylindre est porté par deux colonnes de verre, qui étant d'une nature non-conductrice, s'opposent à la dissipation du fluide dont le conducteur est chargé; et le fluide ne pouvant d'ailleurs s'échapper à travers l'air environnant, qui, par sa nature, refuse aussi de le transmettre, s'accumule jusqu'à un certain degré autour du conducteur; ensorte que si l'on en approche le doigt ou un corps quelconque qui soit lui-même conducteur, la présence du fluide électrique s'annoncera par une étincelle.

Des deux Fluides dont on suppose le Fluide électrique composé.

525. L'hypothèse que nous emploîrons pour expliquer les phénomènes, consiste à considérer, avec Symmer (1), le fluide électrique comme composé de deux fluides différens, qui sont neutralisés l'un par l'autre, dans l'état ordinaire des corps, et qui se dégagent lorsque les corps donnent des signes d'électricité. Au reste, il faut avouer que l'existence de ces deux fluides n'est pas fondée sur des raisons aussi recevables que celle du fluide électrique lui-même, que l'on suppose ici résulter de leur réunion. Mais l'adoption de ces fluides conduit à une manière simple et plausible de représenter les résultats de l'expérience, et sauve les difficultés dans lesquelles nous verrons bientôt que l'on s'expose à tomber, en essayant une autre hypothèse.

---

(1) Philosoph. Transact., t. LXI, part. I, p. 340 et suiv.

Telle est en général la manière d'agir des mêmes fluides, que les molécules de chacun se repoussent mutuellement et attirent celles de l'autre fluide. Il en résulte quatre combinaisons différentes d'actions entre les fluides de deux corps; savoir, deux répulsions et deux attractions, d'où dépendent les mouvemens par lesquels les corps eux-mêmes s'approchent ou s'écartent l'un de l'autre, ainsi que nous l'expliquerons bientôt avec plus de détail.

526. Le fluide électrique est répandu dans tous les corps. Le globe terrestre en est comme une source inépuisable, ce qui a fait donner à ce globe, le nom de *réservoir commun*, lorsque l'on parle de son intervention dans les phénomènes électriques. Chaque corps possède une certaine quantité du même fluide qui dépend de sa nature, et que nous appelons, pour cette raison, *la quantité de fluide naturelle* de ce corps. Si, par l'effet de quelque circonstance, ce fluide subit une décomposition, le corps se trouvera électrisé; d'où l'on voit qu'il ne faut pas confondre un corps qui est dans l'état naturel, avec un corps qui n'a que sa quantité naturelle de fluide, puisque la décomposition de celle-ci peut faire sortir le corps de son état naturel, sans aucune addition de fluide étranger. Mais le corps peut aussi passer à l'état électrique, en vertu d'une quantité surabondante de l'un ou l'autre des fluides composans, qu'il aurait reçue d'ailleurs par communication.

Principes de la Théorie de Francklin.

527. Comparons maintenant l'opinion de Francklin, sur l'électrisation des corps, avec la manière de concevoir le même phénomène, dans l'hypothèse que nous avons adoptée. Ce célèbre physicien considérait le fluide électrique comme un être simple; et dans le passage d'un corps à l'état d'électricité, il pouvait arriver de deux choses l'une: tantôt le corps recevait du dehors une quantité de fluide qui s'ajoutait à la quantité naturelle, et dans ce cas, on disait de ce même corps,

qu'il était électrisé *positivement ;* c'est ce qui arrivait au verre, et à plusieurs autres substances, par l'effet du frottement : tantôt le corps perdait une portion de son flnide naturel, et alors il se trouvait électrisé *négativement.* C'était le cas de la cire d'Espagne, de la résine, de la soie, etc., lorsqu'on les frottait. De là encore, les expressions d'*électricité positive* et d'*électricité négative*, employées par Francklin, pour désigner les deux états opposés dont nous venons de parler ; nous verrons bientôt qu'un même corps pouvait aussi, suivant les circonstances, passer à l'un ou à l'autre de ces deux états.

Or, dans notre hypothèse, tous les effets attribués par Francklin à l'électricité positive ou à une surabondance du fluide unique admis par ce savant, seront produits par l'action d'un des deux fluides composans, rendn à l'état de liberté ; et les effets qui dépendaient, selon lui, de l'électricité négative ou de la soustraction d'une partie du fluide qui faisait tout, seront dûs à l'action de l'autre fluide composant. En conséquence, nous appellerons le fluide relatif à la première espèce d'électricité, *fluide de l'électricité vitrée*, ou simplement *fluide vitré ;* et nous donnerons au fluide qui détermine l'autre espèce d'électricité, le nom de *fluide de l'électricité résineuse*, ou, pour abréger, celui de *fluide résineux.* Ce langage est à-peu-près le même qu'employait Dufay, dans un sens moins déterminé ; et, puisque les connaissances nous manquent sur la natnre de ces deux fluides, dont l'existence même n'est pas démontrée, nous ne pouvons mieux faire que d'en emprunter les noms de ceux des corps qui les fournissent d'une manière spéciale.

528. Nous devons prévenir qu'il ne faut pas confondre les deux fluides que nous adoptons ici, avec les deux courans, l'un de matière effluente, et l'autre de matière affluente que Nollet avait imaginés pour expliquer les phénomènes électriques. Ces deux courans appartenaient à un même fluide ; et s'élançaient l'un du conducteur vers les corps environnans, et l'autre de ceux-ci vers le conducteur. Il y a loin, sans doute, de ces hypothèses, qui employaient des effluves dont les actions,

tions, affranchies de toute loi et de toute méthode rigoureuse, ne conduisaient qu'à des explications vagues d'une partie des phénomènes, et étaient prises en défaut par les autres, à ces théories fondées sur des forces dont la mesure est donnée par l'expérience, et dont les différens effets sont déterminés par le calcul avec une précision qui pourrait les faire prédire.

Diversités que présentent les Corps électrisés par le Frottement.

529. Deux corps idio-électriques se constituent, par leur frottement mutuel, dans deux états différens d'électricité, et les circonstances qui déterminent chacun d'eux à acquérir de préférence telle espèce d'électricité, dépendent de certaines causes qu'il n'est pas toujours facile de démêler. Le verre et les matières dans lesquelles le caractère vitreux est nettement prononcé, comme le cristal de roche et les pierres gemmes, acquièrent presque toujours l'électricité vitrée, quel que soit le frottoir que l'on emploie : nous disons presque toujours; car on a observé que le verre frotté avec le poil de chat s'électrisait résineusement. D'une autre part, la résine, le soufre, la cire d'Espagne acquièrent l'électricité résineuse, par le frottement d'une matière idio-électrique quelconque. Mais il y a ici une restriction à faire, au moins par rapport aux substances vitreuses, qui ne manifestent l'électricité vitrée, après qu'elles ont été frottées, qu'autant que leur surface est lisse et polie. Ainsi le verre qui a été dépoli s'électrise résineusement, par le frottement des mêmes substances qui auparavant lui communiquaient l'électricité vitrée. En général, toutes choses égales d'ailleurs, les substances qui ont leur surface hérissée d'aspérités, paraissent avoir une tendance plus marquée vers l'électricité résineuse. Lorsqu'on frotte un ruban de soie blanc contre un autre de couleur noire, le premier s'électrise vitreusement et le second résineusement, ce que le célèbre Ingen-Housz attribue à la matière colorante du ruban noir, composée

de molécules qui donnent une certaine âpreté à la surface de ce ruban (1).

530. Parmi les corps métalliques isolés, que l'on frotte avec une substance d'une nature déterminée, telle qu'un morceau de drap, les uns, comme le zinc et le bismuth, acquièrent l'électricité vitrée; et les autres, comme l'étain et l'antimoine, acquièrent l'électricité résineuse. Nous citons de préférence ces métaux, comme étant de ceux qui donnent le plus constamment le même résultat. Car on observe, dans les expériences de ce genre, des anomalies singulières; ensorte que tel morceau de métal, placé dans les mêmes circonstances, acquiert quelquefois une électricité différente de celle qu'il avait d'abord manifestée.

531. La même diversité a lieu par rapport à certains corps idio-électriques. Quelquefois aussi le frottement fait naître constamment une espèce d'électricité dans tel morceau d'une substance, et en détermine constamment une différente dans un autre morceau d'ailleurs semblable au premier. Nous ne connaissons aucun corps dans lequel ce genre d'anomalie tienne à des nuances aussi délicates et aussi imperceptibles, que le minéral nommé communément *cyanite*, et que nous avons appelé *disthène* (qui a deux vertus). Parmi les divers cristaux de ce minéral, les uns acquièrent toujours l'électricité résineuse, à l'aide du frottement, et les autres l'électricité vitrée; et dans quelques-uns, les deux espèces d'électricité contrastent entre elles sur deux faces opposées, sans que ni l'œil ni le tact puissent saisir, dans l'éclat et le poli des faces, la plus légère indication de cette différence d'états.

Circonstance dans laquelle le Taffetas gommé acquiert l'Electricité vitrée.

532. M. le professeur Libes a découvert une manière particulière d'exciter la vertu électrique dans le taffetas gommé

(1) Nouvelles Expér. et Observ. sur divers objets de Physique, t. I, p. 5.

dont on fait les rubans que l'on électrise par frottement, pour charger de petites bouteilles, avec lesquelles on répète l'expérience de Leyde que nous décrirons dans la suite. L'enduit dont ce taffetas est couvert forme une espèce de vernis gluant, par l'intermède duquel le taffetas contracte de l'adhérence avec les corps que l'on applique, par pression, sur sa surface, ensorte qu'il faut faire ensuite un certain effort pour les en détacher, et que cette séparation est accompagnée d'un bruit analogue à celui d'un tissu que l'on déchire.

On sait que le taffetas gommé acquiert l'électricité résineuse par le frottement ordinaire : mais M. Libes a observé que si l'on se contente d'appliquer sur la surface de cette espèce de tissu un disque de métal attaché par le milieu à un cylindre de verre que l'on tient à la main, pour que le disque reste isolé, le taffetas, après sa séparation d'avec ce disque, se trouve électrisé vitreusement, tandis que c'est le disque qui est dans l'état résineux. L'une et l'autre électricité ont d'autant plus d'énergie que l'application du disque a été aidée par une plus forte pression. Il paraît que dans cette expérience la résistance que l'enduit oppose à l'effort qui agit pour en séparer le disque, excite dans les particules de cet enduit une espèce de jeu, dont l'effet est analogue à celui du frottement, avec cette différence remarquable, que l'électricité acquise par le taffetas, est d'une espèce différente de celle que le frottement y ferait naître, même dans le cas où l'on emploîrait, comme frottoir, le disque métallique.

Voici une manière de vérifier cette expérience, qui en fait mieux ressortir les résultats. On frotte d'abord le taffetas avec le disque de métal ; le premier acquiert alors l'électricité résineuse, et le second l'électricité vitrée ; on applique ensuite le disque, par pression, sur le taffetas, et l'on trouve que chacun possède encore la même espèce d'électricité, mais dans un degré plus faible. En répétant les contacts, on arrive à un terme où l'électricité est zéro de part et d'autre, et au-delà de ce terme, le ruban passe à l'état vitré et le disque métallique à l'état résineux.

Si l'on substitue à ce disque un plateau de verre, le taffetas acquiert encore l'électricité vitrée, et celle du verre est résineuse, c'est-à-dire qu'elles sont l'une et l'autre d'une espèce opposée à celle qui aurait lieu par le frottement ordinaire.

Les effets intéressans dont nous venons de parler paraissent tellement dépendre de la résistance à la séparation, que si l'on emploie un taffetas qui ait perdu sa vertu glutineuse par la dessication, ensorte qu'il ne contracte aucune adhérence sensible avec les autres corps, l'application du disque n'y produit plus d'électricité.

Tension Electrique.

533. On donne le nom de *tension électrique* à la force répulsive avec laquelle les molécules du fluide vitré ou résineux répandu sur la surface d'un corps, tendent à s'écarter les unes des autres. Cette force est proportionnelle à la densité dn fluide ou au nombre de molécnles renfermées dans un espace donné. Supposons deux corps qui soient chargés, par exemple, d'électricité vitrée. Si l'on applique sur la surface de chaque corps un petit disque métallique, fixé à l'extrémité d'une aiguille de gomme-laque, pour le tenir isolé, les quantités de fluide que les deux disques, en les supposant égaux, enleveront aux corps dont il s'agit, seront entre elles comme les tensions des mêmes corps; et en employant, pour les mesurer, des moyens dont nous parlerons dans la suite, on pourra déterminer le rapport entre les tensions elles-mêmes.

De la Loi que suivent les Actions Electriques à raison de la Distance.

534. Les forces des deux fluides qui composent le fluide électrique agissent, ainsi que nous l'avons dit (516), en raison inverse du carré de la distance. Cette loi avait déjà été apperçue par plusieurs physiciens, et en particulier par Æpinus, qui disait que s'il avait à choisir, il donnerait la préférence à

cette même loi, parcequ'elle avait l'analogie pour elle (1). On voit par là qu'il présumait que le principe des mouvemens célestes devait s'étendre sur toutes les actions à distance, et plus cette idée était belle et satisfaisante, plus il était à desirer qu'elle pût devenir une vérité de fait.

Coulomb l'a démontrée en même temps pour les actions électriques, et pour celles qui dépendent du magnétisme. Il a donné à l'appareil dont il s'est servi dans les expériences relatives à l'électricité, le nom de *balance électrique*, qui lui convient parfaitement, parcequ'il fournit le moyen d'établir l'équilibre entre une force électrique et une autre force, dont les plus petites quantités sont susceptibles d'être mesurées avec beaucoup de précision.

Cette dernière force est ce qu'on appelle la *force de torsion*. C'est l'effort que fait un fil qui a été tordu, pour se détordre et revenir à son premier état. Soit *ac* (*fig.* 45) un fil de métal ou de toute autre matière, auquel on ait suspendu, par le milieu, un petit lévier *bd*; supposons que ce lévier étant d'abord en repos, commence à tourner autour du point *c*, en décrivant des arcs de cercle par ses deux extrémités. Le fil se tordra en même temps d'un nombre de degrés égal à celui qui est compris dans chacun de ces arcs, et si on veut le maintenir dans cet état de torsion, il faudra appliquer à l'une ou à l'autre des extrémités *b*, *d*, du lévier, une résistance qui balance l'effort de ce fil, pour revenir au point où, le lévier étant immobile, la torsion était nulle. Or Coulomb a prouvé que, toutes choses égales d'ailleurs, cet effort, qu'il nomme *force de torsion*, est proportionnel à l'angle de torsion : concevons, par exemple, que dans le cas dont nous venons de parler, l'arc décrit par le point *b* ou *d*, ou, ce qui revient au même, la quantité de la torsion soit de $30^{d.}$, et désignons par *r* la résistance capable de faire équilibre à cette torsion; si l'on suppose une torsion double, en vertu d'un arc de $60^{d.}$, il faudra, pour qu'il y ait encore équilibre, que la résistance soit égale à 2 *r*.

(1) *Tentamen Theoriæ Electricit. et Magnet.*, p. 38.

Description et Usage de la Balance Electrique.

535. L'appareil employé par Coulomb est composé principalement d'une grande cage de verre ACDB (1), (*fig.* 46), recouverte d'une plaque AC de la même matière. Sur le milieu de cette plaque est soudé un tuyau vertical *f e b h*, pareillement de verre, et surmonté d'un tuyau de cuivre beaucoup plus court *c b h d*, dans lequel tourne avec frottement une autre portion de tuyau du même métal. Celle-ci porte une plaque *l y*, percée d'un trou en son milieu, pour recevoir une petite tige à laquelle est attachée une aiguille *o l* que l'on fait tourner en même temps que la tige. Le bord de la plaque *l y* est divisé en 360$^{d.}$ dans le sens *lky*. La tige porte à son extrémité inférieure une petite pince qui saisit un fil d'argent très-délié *pn*, au bas duquel est suspendu un petit cylindre de cuivre *nu* pour le tenir tendu. Ce cylindre est de plus fendu dans sa longueur, et fait aussi l'office d'une pince, qui presse un petit lévier *ag*, dont un des bras, savoir, *na*, est fait d'un fil de soie enduit de gomme-laque, et terminé par un petit plan circulaire *a* de papier doré. L'autre bras est un fil de cuivre *n g*, qui n'a que la longueur nécessaire pour que le lévier se tienne dans une position horizontale. C'est dans la torsion imprimée au fil métallique *pn* que consiste la force qui sert à mesurer celle des corps électriques dont elle balance l'effet.

La plaque AC est percée en *m* d'un trou, à travers lequel passe un second fil de soie, enduit aussi de gomme-laque, et maintenu dans une direction *mt*, à-peu-près verticale, par le moyen d'un bâton *rs* de cire d'Espagne. Ce fil de soie porte à son extrémité inférieure *t*, une balle *x* de cuivre, qui correspond au point zéro d'un cercle gradué *zq*, attaché autour de la cage ACDB. On peut toujours, à l'aide du tuyau de cuivre supérieur, que l'on fait tourner doucement dans celui où il est

(1) On peut, à volonté, donner à cette cage une forme cylindrique, telle que la représente la figure, ou une forme cubique.

emboîté, disposer les choses de manière que le petit plan circulaire *a* touche la balle *x*, sans que le fil de suspension éprouve aucune torsion.

536. Les choses étant supposées dans cet état, nous allons décrire l'expérience faite par Coulomb, à l'Académie des Sciences, en 1785. Ce physicien électrisa d'abord le cercle doré *a* et la balle *x* de cuivre, en les touchant avec un petit conducteur chargé d'électricité vitrée, qu'il introduisit dans la cage par une ouverture qu'on y avait pratiquée à dessein. A l'instant la balle repoussa le petit plan circulaire à la distance de 36 degrés, laquelle s'estimait d'après la position de ce plan, relativement à la circonférence circonscrite à la cage de verre. Par une suite nécessaire, le fil métallique se tordit d'un nombre égal de degrés. Coulomb continua de le tordre d'une quantité égale à 126 degrés, en faisant tourner l'aiguille *ol* attachée à la tige qui tenait ce fil suspendu, et l'on concevra aisément que, dans ce cas, le mouvement de rotation de l'aiguille devait être en sens contraire de celui qu'avait fait le cercle doré.

La force de torsion ayant subi alors une augmentation considérable, et l'action répulsive des deux corps n'étant plus suffisante pour la balancer à la même distance, le cercle doré s'est rapproché de la balle jusqu'au point où la force de répulsion se trouvât tellement accrue par la diminution de la distance, que l'équilibre fût rétabli : il n'y avait plus à ce moment que 18 degrés de distance entre les deux corps.

Maintenant il est à remarquer que la torsion imprimée de $126^{d.}$, étant une continuation de la torsion de $36^{d.}$ déjà produite par la répulsion des deux corps, si l'on soustrait de cette dernière les $18^{d.}$ qui mesurent la quantité dont le fil s'est détordu, tandis que le cercle doré se rapprochait de la balle de cuivre, il restera $18^{d.}$, lesquels, ajoutés aux $126^{d.}$ de torsion imprimée, donneront $144^{d.}$ pour la torsion totale relative à la seconde position des deux corps. Mais la torsion qui avait lieu dans la position précédente était de $36^{d.}$; d'où il suit que les deux forces répulsives qui faisaient équilibre à ces torsions,

étaient dans le rapport de 4 à 1, le même que celui de 144 à 36. Or les distances correspondantes étaient comme 18 à 36, ou comme 1 est à 2; d'où l'on voit que les forces répulsives suivaient le rapport inverse du carré de la distance.

Cette expérience a été variée de différentes manières, d'après d'autres rapports entre les distances, et tous les résultats se sont trouvés conformes à la même loi.

537. Les petites erreurs inséparables des résultats donnés par une machine dont les mouvemens laissent toujours quelque chose à rabattre de la précision géométrique, n'ont pas échappé à l'attention de Coulomb : par exemple, la vraie mesure de la distance entre les deux corps n'est pas précisément l'arc qui les sépare, mais la corde de cet arc. D'une autre part, l'action répulsive de la balle de cuivre, à l'égard du cercle doré, est un peu oblique sur le lévier qui porte ce cercle. Mais la construction de la machine a cela d'heureux, que les deux erreurs marchent en sens contraire l'une de l'autre, ensorte qu'elles se compensent sensiblement lorsque les angles ne sont pas considérables.

538. Des expériences analogues ont prouvé que les attractions électriques suivent aussi la raison inverse du carré de la distance; et d'ailleurs, sans avoir ici recours à l'observation, on peut conclure immédiatement la loi des attractions de celle des répulsions, en considérant l'équilibre de deux corps, dont chacun n'a que son fluide naturel. Comme les quantités d'électricité vitrée qui font partie de la quantité de fluide naturelle sont toujours proportionnelles aux quantités d'électricité résineuse, dès que les répulsions mutuelles des fluides de la même espèce se font en raison inverse du carré de la distance, il est nécessaire que les attractions suivent la même loi, sans quoi il n'y aurait point équilibre.

Tendance du Fluide Electrique, pour se répandre à la surface des Corps conducteurs.

539. La loi que nous venons d'exposer conduit à un résultat très-remarquable de l'électricité des corps conducteurs. Il consiste en ce que tout le fluide libre qui tient un de ces corps à l'état électrique, est répandu autour de sa surface, sans qu'il en existe aucune portion sensible à l'intérieur. Cette propriété se prouve également par le raisonnement et par l'expérience, et nous allons présenter successivement l'une et l'autre manière de la démontrer, en observant cependant que la preuve géométrique n'est rigoureuse que pour les corps sphériques, et pour quelques autres dont nous parlerons plus bas. Mais comme un solide d'une forme quelconque peut toujours être censé circonscrit à l'un de ceux dont il s'agit, la manière dont l'action principale est modifiée par la matière excédante, ne doit apporter qu'une différence assez légère dans le résultat.

540. La démonstration que nous donnerons de ce résultat, considéré dans les corps sphériques, dépend de deux principes de la philosophie Newtonienne. L'un, que nous avons déjà fait connaître en parlant de l'attraction (41), consiste en ce que si toutes les molécules d'une sphère attirent en raison inverse du carré de la distance (et il en faut dire autant de la force répulsive), la somme des actions qu'elles exercent sur une particule de matière placée hors de la sphère, sera la même que si toutes les molécules agissantes étaient réunies au centre de la même sphère. Telle est, dans ce cas, ainsi que nous l'avons remarqué, la manière dont se combinent les actions qui émanent des différens points de la sphère, qu'il y a compensation entre les actions plus faibles des molécules placées au-delà du centre, par rapport à la particule attirée ou repoussée, et les actions plus fortes des molécules situées en deçà du même centre; ensorte que le centre est le point dans lequel il faudrait que toutes les molécules allassent se réunir, pour exercer

une force moyenne qui fût égale à l'ensemble de toutes les forces disséminées dans la masse entière.

Le principe que nous venons d'exposer n'a lieu qu'en vertu de ce que chacune des couches dont on peut concevoir la sphère comme étant composée depuis le centre jusqu'à la surface, attire ou repousse elle-même, comme si toute sa matière était réunie au centre, de manière que la proposition est également vraie d'une simple enveloppe sphérique qui laisserait un vide entre elle et le centre.

541. On suppose, dans l'autre principe, une pareille enveloppe, dont les molécules agissent encore suivant la même loi; mais la molécule attirée ou repoussée, au lieu de se trouver en dehors de cette enveloppe, est située dans quelque point de sa cavité, et l'on prouve qu'alors elle est également attirée ou repoussée de tous les côtés, c'est-à-dire, qu'elle demeure immobile dans sa position; c'est ce que Newton a démontré d'une manière extrêmement simple (1), à l'aide de la construction suivante.

Soit *onrs* (*fig.* 47) la projection de l'enveloppe dont il s'agit, et soit *m* la molécule; nous supposerons que l'enveloppe agisse par attraction sur cette molécule, parceque la démonstration s'applique d'elle-même à l'hypothèse d'une force répulsive. Menons par *m* deux lignes *bmc*, *gma*, qui interceptent sur l'enveloppe deux arcs infiniment petits *ab*, *cg*, qui pourront être pris pour leurs cordes. Concevons maintenant deux portions semblables et infiniment petites de l'enveloppe, qui aient *ab* et *cg* pour diamètres. Elles seront entre elles comme les carrés de ces diamètres; et puisque les attractions suivent la raison directe des masses et l'inverse du carré des distances, elles seront comme $\frac{(ab)^2}{(mb)^2} : \frac{(cg)^2}{(mg)^2}$. Mais à cause des triangles semblables *mab*, *mcg*, on a $ab : cg :: mb : mg$,

(1) Philosophiæ Natur., Princip. Mathemat., t. I, sect. XII, prop. LXX, theor. XXX.

ou $(ab)^2 : (cg)^2 :: (mb)^2 : (mg)^2$. Donc $\frac{(ab)^2}{(mb)^2} = \frac{(cg)^2}{(mg)^2}$, c'est-à-dire, que les attractions sont égales. Or, si l'on suppose l'enveloppe divisée en une infinité de petites portions semblables aux précédentes, les attractions de deux d'entre elles situées de deux côtés opposés seront aussi égales ; d'où il suit que la molécule *m* n'étant pas plus sollicitée vers un côté que vers l'autre, restera immobile.

Telle est donc la combinaison des actions produites par les molécules de l'enveloppe, que si l'on imagine un plan *tr* qui passe par la molécule attirée ou repoussée, et qui aille couper l'enveloppe en deux parties nécessairement inégales, les actions de la plus petite partie *tgr* étant en général plus rapprochées, et celles de la plus grande *tar* s'exerçant à des distances plus considérables, il en résultera une compensation exacte qui tiendra en équilibre la molécule soumise à ces actions contraires.

542. Tout cela étant bien conçu, soit donné un corps conducteur d'une figure sphérique, et rempli de fluide libre de l'une ou de l'autre espèce d'électricité vitrée ou résineuse, et supposons, s'il est possible, qu'il y ait équilibre. Il suit des deux principes précédens, que cet équilibre ne pourra pas subsister un seul instant, et que tout le fluide sera chassé en dehors de la sphère.

Soit *os* (*fig.* 48) cette même sphère ; partageons, par la pensée, tout le fluide en une infinité de couches infiniment minces, qui s'enveloppent mutuellement depuis le centre jusqu'à la surface, ainsi que le représente la figure, et considérons l'action de la sphère sur une molécule *m*, située à la surface extérieure de l'une quelconque *den* de ses couches. La répulsion de tout le fluide renfermé dans cette couche et dans toutes les autres, qui sont plus voisines du centre, sera la même que celle d'une sphère sur une molécule placée à sa surface. Ainsi, en conséquence du premier principe, cette molécule, et toutes celles qui sont à la même distance du centre, tendront à s'en écarter et à sortir de la sphère. Il ne

pourrait donc y avoir d'obstacle à cette tendance, que de la part des couches comprises entre la molécule *m* et la surface extérieure *os*. Mais le second principe nous dit que les actions de ces couches s'entredétruisent, à l'égard d'une molécule placée plus près du centre, et parconséquent l'action qui s'exerce du dedans au dehors, subsistera toute entière.

A mesure que le fluide sortira de la sphère, il se formera, vers le milieu de cette sphère, un vide qui aura lui-même la figure sphérique. Chaque molécule située dans une des couches intermédiaires entre ce vide et la dernière couche sera, par rapport aux couches situées en dessous, dans le cas d'une molécule placée à la surface d'une sphère creuse, et elle sera, par rapport aux couches situées en dessus, dans le cas d'une molécule située à l'intérieur d'une sphère creuse; d'où l'on voit que l'action des premières couches continuera de la solliciter à fuir le centre, tandis que l'action des autres couches, pour l'en empêcher, sera nulle; et ainsi tout le fluide qui occupait d'abord la sphère, en sortira; et il se répandrait indéfiniment dans l'espace, s'il n'était arrêté par le contact de l'air environnant qui, étant d'une nature idio-électrique, refusera de s'unir avec lui, et le tiendra appliqué et condensé autour de la sphère, sous la forme d'une couche très-mince.

Puisque l'équilibre ne pourrait subsister, il ne pourra s'établir, et ainsi il n'y a pour le fluide libre, appartenant à un corps conducteur, d'autre manière de se distribuer qui s'accorde avec la loi de la répulsion des molécules, qu'en se répandant sur la surface de ce corps.

543. L'expérience vient à l'appui de cette théorie. Vous prenez une sphère creuse de métal, à laquelle on ait pratiqué une ouverture circulaire de 2 ou 3 centimètres de largeur, et après l'avoir placée sur un isoloir, vous la mettez en communication avec un conducteur que vous électrisez. Vous pouvez même, pour éviter le soupçon de favoriser davantage la surface intérieure qui ne doit, suivant la théorie, donner aucun signe d'électricité, établir une communication entre cette

surface et le conducteur. Ayant ensuite retiré la sphère, toujours portée sur son isoloir, vous appliqnez sur un point de sa surface intérieure, un petit cercle fait d'une feuille de métal, et fixé à l'extrémité d'une longue aiguille de gomme-laque. Vous présentez ce cercle à un électromètre très-sensible qui reste immobile. Vous appliquez le même cercle sur un point de la surface extérieure de la sphère, et ce cercle, présenté de nouveau à l'électromètre, y produit un mouvement très-marqué; et si cet électromètre est déjà électrisé, il indique, dans le petit cercle, une électricité de la même espèce que celle du conducteur qui a servi à électriser la sphère.

Il faut avoir l'attention d'introduire dans la sphère, et d'en retirer, le plus promptement possible, le cercle métallique, en le faisant passer par le milieu de l'ouverture, pour l'empêcher d'enlever quelque portion de l'électricité qui est accumulée sur les bords de cette ouverture. Il peut même arriver alors que cette électricité en communique une de l'espèce contraire à l'aiguille de gomme-laque qui reste isolée à l'égard de l'ouverture, pendant le petit séjour que le cercle métallique fait dans l'intérieur. Mais on s'assurera que l'électricité dont il s'agit appartient à la gomme-laque, en ce qu'elle continue d'être sensible à l'électromètre, lorsque l'on a touché le cercle métallique avec la main.

544. Le point de théorie qui vient de nous occuper est devenu, entre les mains du célèbre Laplace, le sujet d'une belle application des formules dont ce savant s'est servi pour déterminer la figure de la terre. Elle consiste en ce que le résultat donné par un corps d'une figure sphérique, est également vrai pour tous les ellipsoïdes de révolution, ensorte que le fluide électrique doit aussi se porter tout entier à la surface de ces solides. Le même calcul conduit à cette conséquence remarquable, que la force répulsive, ou la tension du fluide qui répond au pôle de l'ellipsoïde, est à celle du fluide qui couvre l'équateur, comme le diamètre de cet équateur est à l'axe du pôle; d'où il suit que si l'ellipsoïde est alongé dans

le sens de ce dernier axe, la tension sera plus forte à l'équateur qu'au pôle. Biot a étendu ces résultats à tous les sphéroïdes très-peu différens de la sphère, quelle que soit l'irrégularité de leur figure (1).

De la manière dont le Fluide Electrique se distribue entre différens Corps en contact les uns avec les autres.

545. Dans tout ce que nous venons de dire, nous avons considéré le corps qui était supposé d'abord rempli de fluide électrique, comme n'exerçant aucune action attractive sur ce fluide, soit pour l'empêcher de sortir, soit pour balancer ensuite la résistance que l'air oppose à sa dissipation, lorsqu'il enveloppe le corps. Ceci nous conduit à un nouveau résultat, qui est lié étroitement avec le précédent. Nous avons dit (526) que chaque corps possède par lui-même une certaine quantité de fluide électrique, composée des fluides vitré et résineux. Cette quantité, qui dépend de la nature du corps, reste comme enchaînée dans son intérieur, tant que les deux fluides y sont neutralisés l'un par l'autre. Mais aussitôt qu'ils se dégagent, ils perdent leur tendance pour se maintenir dans le corps, et n'obéissent plus qu'à leur force répulsive mutuelle. Viennent-ils ensuite à se réunir de nouveau? Le fluide composé, qui résulte de leur assemblage, rentre dans le corps et y demeure fixé comme auparavant. De même, si un corps reçoit d'ailleurs une portion additionnelle de fluide vitré ou résineux, celui-ci se répand à la surface du corps sans pénétrer à l'intérieur, et ne tient même à cette surface que par l'intermède de l'air environnant qui refuse de le transmettre. Nous citerons, en

(1) *Voyez* l'exposition raisonnée que cet habile géomètre a donnée des mêmes résultats, dans les Leçons de l'Ecole Normale, nouv. édit., t. VII, p. 85 et suiv. Il a aussi fait connaître la manière de les soumettre au calcul, dans le Bulletin des Sciences de la Société Philomat., du 3 prairial an 9, p. 21 et suiv.

parlant de l'électricité dans le vide, une expérience qui confirme cette théorie.

546. Puisque le fluide électrique libre d'un corps ne paraît avoir aucune affinité pour lui, il sera également indifférent à l'égard d'un corps quelconque; ensorte que si l'on met un corps conducteur électrisé en contact avec un autre qui soit dans l'état naturel, la partie qu'il lui communiquera de son fluide libre ne dépendra que de la forme des deux corps, et nullement de leur nature. C'est ce que Coulomb a prouvé d'une manière directe, à l'aide de l'expérience suivante. On électrise la balle de cuivre x (*fig.* 46), placée, comme nous l'avons dit, dans la cage de verre ACDB, et après qu'elle a repoussé le cercle doré a, on augmente la torsion d'un certain nombre de degrés, et l'on détermine la torsion totale, et la distance qui en résulte entre la balle x et le cercle a. On fait toucher à l'instant la balle de cuivre par une balle de même diamètre et d'une matière différente, par exemple, de moelle de sureau. Aussitôt qu'on a retiré celle-ci, le cercle doré vient se placer à une moindre distance de la balle de cuivre, qui a perdu une partie de son fluide et en même temps de sa force répulsive. On affaiblit la torsion jusqu'à ce que le cercle soit ramené à la même distance, et l'on trouve que, dans ce cas, la torsion n'est plus que la moitié de ce qu'elle était la première fois, Donc la force répulsive est elle-même diminuée de moitié. Or les actions électriques suivent la raison directe des masses, lesquelles sont ici les quantités de fluide, et la raison inverse du carré des distances; et puisque les distances sont égales, les actions sont simplement comme les quantités de fluide; d'où il résulte que, dans le second cas, la balle de cuivre n'avait plus que la moitié de son fluide, ensorte que la quantité primitive s'était partagée également entre cette balle et celle de moëlle de sureau, à cause de l'égalité et de la similitude des deux corps.

547. Ainsi, dans la communication de l'électricité, les surfaces des corps ne font autre chose que servir en quelque sorte de réceptacle au fluide électrique, qui semble y être dans un

état passif, et n'y reste qu'autant qu'il y est maintenu par la résistance de l'air environnant. Mais quoique la nature des corps n'entre pour rien dans le rapport suivant lequel le fluide électrique se distribue entre eux, elle influe sur le temps qu'exige le partage, ensorte que les facultés conductrices varient selon les différentes qualités des substances. Les métaux, par exemple, le transmettent beaucoup plus rapidement que le bois et le papier; et à cet égard, comme à plusieurs autres, la manière d'agir du fluide électrique se rapproche de celle du calorique. Si donc l'on met en contact un corps conducteur électrisé, avec un second corps pareillement conducteur, qui soit à l'état naturel, il y aura, dans la transmission du fluide de l'un à l'autre, un terme, passé lequel le premier cessera de communiquer, et l'autre de recevoir; et ce terme sera plus ou moins éloigné, suivant que le corps qui reçoit sera plus ou moins susceptible de conduire le fluide. Mais la différence ne portera que sur la durée de la communication, qui se fera toujours sans aucune préférence pour un corps plutôt que pour l'autre, quant à la quantité de fluide communiquée ou reçue.

548. Il était naturel, pour prouver par l'expérience ce défaut d'affinité du fluide électrique par rapport aux différens corps, de choisir le cas le plus simple, qui est celui où les corps étant semblables par leur forme, sont de plus égaux en surface. Mais Coulomb, après avoir établi de cette manière le principe dont il s'agit, a étendu ses recherches à des corps dont les surfaces étaient différentes, en supposant toujours que la forme fût sphérique. Pour mieux concevoir les résultats auxquels il est parvenu, il faut considérer que quand on met un globe qui est à l'état naturel en contact avec un autre globe électrisé, à peine le premier est-il parvenu lui-même à l'état électrique, que les deux fluides exercent l'un sur l'autre leur force répulsive, et se refoulent mutuellement vers les parties opposées au point de contact; ensorte que la densité électrique est nulle dans ce point et dans la partie environnante jusqu'à une certaine distance. Lorsque ensuite on sépare les globes, leurs fluides se répandent uniformément autour d'eux, et les quantités

de

de ces fluides se trouvent égales lorsque les surfaces le sont elles-mêmes. Mais si les surfaces sont inégales, suivant un rapport donné, il arrive alors que les quantités de fluide varient dans un rapport différent, qui est moindre que celui des surfaces ; car ces quantités sont déterminées d'après les conditions de l'équilibre qui doit s'établir entre les forces des deux fluides, au moment du contact ; or, cet équilibre exige que le rapport entre la quantité de fluide du plus petit globe et celle du plus gros, surpasse assez celui qui existe entre les surfaces, pour que son excès compense ce que perd le premier globe, à raison d'une surface moins étendue. Ainsi Coulomb a reconnu, par l'expérience, que quand la surface du petit globe était à-peu-près $\frac{1}{15}$ de celle du plus gros, sa quantité de fluide était environ $\frac{1}{11}$ de celle de ce dernier globe.

549. D'après ces résultats, il était facile de déterminer la loi suivant laquelle variaient les densités électriques des corps entre lesquels le fluide s'était distribué, c'est-à-dire, les quotiens des quantités de fluide divisées par les surfaces. Coulomb a trouvé que pour deux globes, dont l'un reste le même, tandis que l'on choisit l'autre de plus en plus petit, le rapport entre les densités électriques, augmente suivant une progression toujours plus lente, qui a pour limite le rapport de 2 à 1, ensorte que, dans le cas de cette limite, le second globe doit être supposé infiniment petit.

550. Dans des expériences d'un autre genre, Coulomb a disposé, sur une même ligne, un certain nombre de globes recouverts d'une feuille de métal, et en contact les uns avec les autres ; et il a cherché la loi suivant laquelle le fluide se distribuait entre ces différens globes, pour que leurs forces fussent en équilibre. Il a employé ainsi jusqu'à 24 globes, tous de même diamètre. On conçoit bien d'abord, en supposant tous ces globes électrisés, qu'il y a égalité entre les tensions ou densités électriques des deux globes extrêmes, et que de même, les densités de deux globes également éloignés des extrêmes, sont égales entre elles. On voit aussi que la densité de chaque globe extrême doit être plus considérable que celle des

suivans, puisqu'il fait seul équilibre à tous les autres, tandis que le second, par exemple, est aidé par le premier, pour balancer l'action de tous ceux qui sont derrière lui. Or, telle est la loi suivant laquelle la densité diminue, en partant des globes extrêmes, que ce décroissement est très-rapide, relativement aux globes qui avoisinent les extrêmes, comme le deuxième et le troisième de chaque côté, et qu'ensuite la densité diminue toujours plus lentement, jusqu'au milieu où elle est nulle. Cette inégalité entre les forces des différens globes est une suite de la raison inverse du carré de la distance, qui détermine, par rapport à chaque globe, la quantité de fluide nécessaire pour que l'action de ce globe soit en équilibre avec celle de tous les autres.

551. Coulomb a déduit des résultats précédens, la manière dont le fluide électrique est distribué sur différens points de la surface d'un cylindre. Elle varie depuis les extrémités jusqu'au milieu, à-peu-près dans le même rapport que sur une file de globes égaux, et cette ressemblance provient de ce que le fluide est disposé autour des différens globes sous la forme de zones, entre les points de contact, depuis lesquels la densité est presque nulle jusqu'à une certaine distance, à cause de la grande force répulsive qui agit en ces endroits; mais sur le premier et le dernier globe, le fluide enveloppe l'hémisphère opposé au contact avec le globe voisin, ce qui achève de rapprocher la distribution du fluide de celle qui a lieu sur le cylindre, la surface de ce corps pouvant être considérée comme composée d'une suite de bandes annulaires comprises entre deux hémisphères.

A mesure que l'on emploie des cylindres plus longs et plus minces, la densité électrique des points situés vers les extrémités s'accroît par rapport à celle des points intermédiaires; et si l'on suppose un cylindre très-délié, qui soit fixé sur un gros globe électrisé, dont l'action favorisera encore l'augmentation de densité qui doit avoir lieu à l'extrémité opposée, parcequ'il faut que la force du fluide situé à cette extrémité fasse équilibre à celle de tout le reste du fluide répandu, tant sur le cy-

lindre que sur le globe, la densité deviendra si considérable qu'elle l'emportera sur la résistance que l'air oppose à la transmission de l'électricité, et c'est par là que Coulomb explique le pouvoir des corps terminés en pointe, pour lancer rapidement le fluide électrique. L'explication que nous adopterons, parcequ'elle est plus susceptible d'etre développée par le raisonnement, n'est qu'une manière différente de concevoir la même combinaison d'actions.

De la Loi suivant laquelle les Corps Idio-Electriques perdent peu à peu leur Electricité.

552. Il en est tout autrement des corps idio-électriques que des corps conducteurs. Dès que le fluide naturel de ces derniers vient à se décomposer par l'action des causes dont nous parlerons bientôt, ses deux principes se répandent aussitôt à l'extérieur. Nous devons concevoir, au contraire, que quand le corps est idio-électrique, les deux principes composans restent dans son intérieur, même après leur dégagement, et se distribuent, par des mouvemens contraires, dans deux parties opposées de ce corps. Ces mouvemens ne s'exécutent qu'avec une certaine difficulté, qui provient de la résistance des molécules propres du corps; ensorte que quand la cause qui avait décomposé le fluide cesse d'agir, la réunion des deux principes, qui ramène le corps à l'état naturel, ne se fait de même qu'avec une certaine lenteur. On a comparé au frottement cette résistance qu'un corps idio-électrique oppose au mouvement du fluide dans son intérieur, et on lui a donné le nom de *force coercitive*. Les effets de cette force se remarquent surtout dans les corps qui s'électrisent par la chaleur, ainsi que nous le verrons dans la suite.

Au reste, ce que nous venons de dire suppose que la substance du corps jouit de toute sa pureté. Mais le plus souvent il

se trouve des molécules conductrices interposées entre les molécnles idio-électriques du corps, ensorte que les effets sont toujours un peu compliqués de ceux des corps de l'une et de l'autre espèce.

553. Ceci nous conduit à exposer d'autres recherches de Coulomb, relatives à un objet très-intéressant pour ceux qui ayant des expériences d'électricité à faire, desirent y mettre la précision convenable. Les expériences de physique en général, pour devenir comparables, doivent être ramenées au point où toutes les circonstances seraient les mêmes. Si la température influe, par exemple, sur les résultats, on fait disparaître cette influence, soit en maintenant un degré constant de chaud ou de froid, soit en tenant compte de la variation; de même, lorsqu'on emploie un corps électrique successivement à différens résultats que l'on veut comparer entre eux, l'état de ce corps doit être censé permanent; et comme il ne l'est jamais en réalité, parce que dans l'intervalle d'une opération à l'autre, le corps perd toujours une certaine quantité de son électricité, il fallait chercher des moyens pour évaluer cette perte, et y avoir égard dans les résultats.

Or cette perte provient de deux causes, l'une est le contact de l'air environnant, qui est toujours plus ou moins chargé de molécules humides; l'autre est due aux supports idio-électriques qui soutiennent le corps électrisé, et dont les mieux choisis n'isolent jamais parfaitement. Coulomb est parvenu à démêler les actions de ces deux causes, qui s'exercent simultanément, et à rendre l'expérience indépendante de leurs variations.

554. A l'égard de la cause qui provient de l'air, il a trouvé, en prenant d'une part la force électrique perdue par le corps dans un temps donné, tel que dix minutes, et de l'autre la force moyenne qui résulte de la différence entre les forces au commencement et à la fin de l'expérience, divisée par le nombre des minutes, que le rapport entre ces deux forces est un rapport constant pour un même état de l'air, ce qui met à portée de comparer entre eux divers résultats, d'après les

forces moyennes qui répondent aux différentes durées des expériences.

555. Restait à considérer la perte d'électricité qui se fait le long des supports. Les expériences de Coulomb relatives à cet objet, lui ont fait connaître que quand la densité électrique du corps est considérable, le décroissement produit à-la-fois par l'air et par les supports, suit un progrès beaucoup plus rapide que celui qui est dû au seul contact de l'air; mais depuis l'instant où la densité se trouve très-affaiblie, l'influence du support devient sensiblement nulle; ensorte qu'en employant dès le commencement un corps dont la densité électrique est modérée, on peut se contenter d'avoir égard à la perte qui se fait par le contact de l'air.

556. Mais cette espèce de résistance du support à la transmission du fluide électrique, ne peut être regardée comme absolue que pendant un certain temps qui suffit, pour l'ordinaire, aux expériences. Dans la réalité, il n'est point de support tellement idio-électrique, que sa substance ne soit entremêlée de particules conductrices, et c'est en vertu de la lenteur avec laquelle le fluide franchit les intervalles entre ces dernières molécules, que la densité électrique du corps qui repose sur le support n'éprouve que des pertes insensibles dans un espace de temps plus ou moins limité. Or, en donnant plus de longueur au support, on augmente le nombre des intervalles que le fluide est obligé de parcourir avant d'arriver aux corps environnans. De là il suit qu'étant donnée la longueur du support qui isole, aussi complétement qu'il soit nécessaire, un corps dont la densité est pareillement donnée, si l'on veut employer un autre corps chargé d'un fluide plus dense, on pourra obtenir un isolement aussi parfait que le premier, en prenant un plus long support. Coulomb a trouvé que l'état de l'air étant le même, les longueurs des supports devaient être comme les carrés des densités électriques. Ainsi, pour un second corps d'une densité double de celle du premier, il faut un support quatre fois plus long que celui qui isolait ce premier corps.

Des Attractions et Répulsions Electriques.

Les attractions et répulsions électriques sont un des sujets dont les physiciens se soient le plus occupés, et qui ait le plus embarrassé ceux qui ont essayé de ramener à l'action d'un seul fluide deux effets diamétralement opposés, et qui souvent se succèdent rapidement l'un à l'autre dans un même corps. Mais si l'on admet ici les actions combinées de deux fluides, la théorie devient d'une simplicité si heureuse, que le seul énoncé de l'hypothèse semble être une explication abrégée des phénomènes.

Répulsion mutuelle de deux Corps dont les Electricités sont homogènes.

557. Si nous supposons d'abord deux corps qui soient électrisés, chacun par une portion additive d'électricité vitrée ou résineuse, qui lui aurait été transmise, on voit à l'instant ce qui doit arriver, puisque ce principe que les corps animés de la même espèce d'électricité se repoussent, et que les corps sollicités par des électricités différentes, s'attirent, n'est que la traduction, pour ainsi dire, littérale de cet autre principe fondamental, que les molécules de chacun des fluides composans, agissent les unes sur les autres, par des forces répulsives, et exercent des forces attractives sur les molécules de l'autre fluide.

558. Ceci exige cependant quelques détails, qui trouveront leur place dans l'exposé que nous allons faire des moyens que l'on peut employer pour mettre le principe en expérience. Soient A, B (*fig.* 49), deux balles de moëlle de sureau ou de toute autre matière conductrice, suspendues par des fils à une petite distance l'une de l'autre, et auxquelles on ait communiqué l'électricité vitrée. Les fluides qui enveloppent ces balles se repousseront mutuellement ; et leurs molécules se répan-

draient dans l'espace par des mouvemens contraires, si l'air environnant ne les maintenait autour de chaque corps. Elles ne pourront donc que glisser sur la surface des corps, de manière, par exemple, que le fluide du corps A étant refoulé vers la partie postérieure *d* de ce corps, exercera son effort sur l'air lui-même qui avoisine ce point. L'équilibre alors étant rompu entre cet air et celui qui est contigu à la partie antérieure *c*, ce dernier agira par son ressort sur le corps A pour le pousser suivant la direction *ch*; le même raisonnement s'applique en sens contraire au corps B, d'où nous conclurons que les fluides et les corps entraînés par un mouvement commun doivent se fuir. On aura un résultat semblable, en supposant que les deux corps soient électrisés résineusement.

Attraction mutuelle de deux Corps dont les Electricités sont hétérogènes.

559. Concevons maintenant que l'un des deux corps, par exemple, le corps A étant sollicité par l'électricité vitrée, celle du corps B soit résineuse. Les fluides alors s'attireront de manière que, relativement au corps A que nous continuerons de prendre pour terme de comparaison, le refoulement se fera vers la partie antérieure *c* de ce corps. Le fluide, accumulé en cet endroit, agira donc par répulsion sur l'air voisin; d'où il suit que l'air contigu à la partie postérieure *d*, poussera le corps suivant la direction *dn*. Le même effet aura lieu en sens contraire par rapport au corps B, et ainsi les fluides et les corps se porteront l'un vers l'autre.

Equilibre de deux Corps dans l'état naturel.

560. Avant d'arriver aux autres cas dans lesquels il y a décomposition du fluide naturel de l'un des corps ou de tous les deux, il est nécessaire de considérer d'abord l'équilibre de deux corps qui sont dans l'état naturel. Désignons ces corps

par A et par B, et bornons-nous à déterminer la manière dont A agit sur B, parceque toute action est réciproque. Or, le corps A exerce sur le corps B quatre actions différentes, qui proviennent des répulsions de ses deux fluides sur les fluides homogènes de B, et de leurs attractions sur les fluides de nature différente, et il est facile de prouver que l'équilibre dépend de l'égalité de ces quatre actions.

Nommons U le fluide vitré de A, R son fluide résineux, u le fluide vitré de B, et r son fluide résineux. D'après ce que nous venons de dire, 1°. U attire r; 2°. R repousse r; 3°. R attire u; 4°. U repousse u. Or les deux premières forces sont égales entre elles; car si r était plus ou moins attiré par U que repoussé par R, il prendrait du mouvement, ce qui est contre l'hypothèse de l'équilibre. Les deux dernières forces sont aussi égales, par une raison semblable, c'est-à-dire, que u est autant attiré par R que repoussé par U.

De plus, la troisième force est égale à la première, c'est-à-dire, qu'autant U attire r, autant R attire u. Car, d'un côté, plus r renferme de molécules attirées, ou, ce qui revient au même, plus r a de masse, et plus l'effort avec lequel r se porte vers U est considérable; d'un autre côté, plus U renferme de molécules attirantes, et plus chaque molécule de r a de vîtesse pour se porter vers U. Donc la quantité de mouvement, qui mesure l'effet total avec lequel r se porte vers U, est représentée par le produit $r \times U$. On prouvera, à l'aide d'un raisonnement analogue, en substituant u à r, et R à U, que l'effort total avec lequel u se porte vers R, a pour expression le produit $u \times R$.

Or, les fluides étant neutralisés l'un par l'autre dans chaque corps, il en résulte que les quantités du fluide U et u sont proportionnelles aux quantités du fluide R et r, c'est-à-dire, que l'on a $r \times U = u \times R$.

Maintenant, puisque des quatre forces que nous considérons ici, trois sont égales entre elles, et qu'il y a équilibre, il est évident que la quatrième force est égale à chacune des trois autres; et c'est par une suite de cette égalité entre les

quatre forces, que deux corps, dans l'état naturel, n'ont aucune action l'un sur l'autre.

Action d'un Corps électrisé sur un Corps dans l'état naturel.

561. Concevons un corps conducteur A, d'une figure sphérique, électrisé en vertu d'une quantité additive de fluide vitré qu'il ait reçue d'ailleurs, et un second corps sphérique B, pareillement conducteur, et dans l'état naturel. Le fluide vitré, qui environne A, exercera une force répulsive sur le fluide de la même espèce, faisant partie du fluide naturel de B, et une force attractive sur le fluide résineux, qui est l'autre principe composant du même fluide naturel. Ce dernier fluide sera donc décomposé, ensorte que les molécules de son fluide résineux se porteront vers la partie de B la plus voisine de A, et que celles du fluide vitré seront chassées vers la partie opposée. Ces mêmes principes sortiront du corps B et se répandront autour de sa surface, de manière que le fluide de l'électricité résineuse enveloppera l'hémisphère tourné vers A, et celui de l'électricité vitrée, l'hémisphère le plus éloigné de A.

Or, en raisonnant ici du fluide additionnel de A, comme de celui qui fait partie de son fluide naturel, on concevra qu'à égalité de distance il exercerait, sur les deux fluides de B, des actions qui se détruiraient mutuellement. Mais la distance n'étant plus la même, le fluide résineux de B sera plus attiré que le fluide vitré ; ensorte que les deux corps, s'ils sont suspendus librement, s'approcheront l'un de l'autre jusqu'au contact. Alors, la quantité additive du fluide vitré de A, s'unissant avec le fluide résineux répandu sur la surface de B, il résultera de cette union une certaine quantité de fluide naturel qui rentrera dans B ; et il est bien clair que sur la totalité des fluides qui se trouvaient libres au moment du contact, il restera une portion de fluide vitré hors de l'état de combinaison. Cette portion se distribuera entre les deux corps, suivant une certaine loi dont nous avons parlé (548), et les deux corps

se trouvant à l'état d'électricité vitrée, se repousseront, ainsi que l'expérience le fait voir.

Le même raisonnement s'applique, par un simple changement de noms, au cas où le corps A serait chargé d'une quantité additive de fluide résineux.

562. On voit par là qu'il n'est pas exactement vrai, comme les partisans de Francklin l'avaient d'abord pensé, qu'un corps amené à un certain état d'électricité, attire à lui un autre corps qui est dans son état naturel. Il manque, dans cette manière de concevoir le phénomène, une idée intermédiaire. Le premier corps commence par faire sortir l'autre de son état naturel : il le rend attirable, puis il l'attire.

Carillon Electrique.

563. Il est aisé maintenant de concevoir les effets de ces timbres métalliques, frappés alternativement par un petit globe pareillement métallique, qui sert de battant. Des deux timbres voisins *g* et *n* (*fig.* 56), l'un, tel que *g*, communique avec le conducteur par le moyen de sa chaîne de suspension *Gr*; l'autre timbre *n* est suspendu à un fil de soie, et parconséquent isolé à l'égard du conducteur, en même temps qu'il communique avec les corps environnans, par l'intermède de la chaîne *nh*. Le globe métallique *d* est suspendu aussi à un fil de soie. Au moment où l'on charge le conducteur, le fluide, que nous supposerons être celui de l'électricité vitrée, se communique au timbre *g*. A l'instant, le globule *d*, attiré par ce timbre, va le frapper, et est aussitôt repoussé, pour la raison que nous avons dite. Il tendrait donc déjà, en vertu de cette seule répulsion, à s'approcher du timbre *n* ; mais il y est de plus sollicité, à raison de l'électricité acquise, puisque le timbre *n* est dans l'état naturel ; enfin, le mouvement oscillatoire seconde encore cet effet. Mais aussitôt que le globule est en contact avec le timbre *n*, il lui cède son fluide, qui se perd le long de la chaîne *nh*. Alors le globule qui, en vertu du seul mouvement d'oscillation, se serait rapproché du timbre *g*, se

trouve encore attiré vers lui par l'action du fluide électrique répandu à la surface de ce dernier ; ensorte que les mêmes causes recommençant à agir, les mêmes effets se répètent, et ainsi successivement.

Cas où l'Attraction n'est pas suivie d'une Répulsion.

564. Si le corps A, dont nous avons parlé plus haut (561), étant toujours conducteur, le corps B est idio-électrique, alors les effets seront les mêmes jusqu'au contact, avec cette différence, que les deux fluides de B resteront accumulés dans l'intérieur de ce corps, l'un vers la partie voisine de A, l'autre vers la partie opposée. Après le contact, le fluide additionnel de A ne pouvant pénétrer le corps B, pour s'unir avec celui d'une espèce différente que renferme ce même corps, l'attraction subsistera, et les deux corps resteront appliqués l'un à l'autre. Suspendez un petit globe de cire d'Espagne à un fil de soie, auprès d'un conducteur ; au moment où ce conducteur sera électrisé, le globe s'en approchera jusqu'au contact, et ne le quittera plus.

Action mutuelle de deux Corps dont chacun a ses deux parties dans des états différens.

565. On peut imaginer d'autres hypothèses, en faisant varier les états et les natures des corps A et B, et obtenir, dans chaque hypothèse, des résultats analogues aux précédens. Parmi tous ces différens résultats, nous nous bornerons à un seul qui nous sera utile pour la suite. Concevons que les deux corps A et B soient idio-électriques, et que le fluide naturel de chacun ait été décomposé dans son intérieur. Supposons de plus ces deux corps situés l'un dans la sphère d'activité de l'autre, ensorte que la partie de A qui renferme le fluide vitré, regarde celle de B qui renferme le fluide résineux. Si chacun des deux fluides de A agissait, à la même distance, sur l'un ou l'autre des fluides de B, il y aurait équilibre entre leurs actions. Mais

comme le fluide vitré agit de plus près, sa force l'emportera, ensorte que l'on pourra considérer A comme un corps qui agirait uniquement en vertu d'une quantité *u* de fluide vitré, proportionnelle à la différence des deux actions. Or il est facile d'en conclure que le fluide résineux de B étant, à son tour, plus voisin du point dans lequel l'action de *u* est censée résider, que ne l'est le fluide vitré du même corps B, l'attraction de *u* sur le premier sera plus forte que la répulsion sur le second; d'où il suit que les deux corps s'approcheront l'un de l'autre. Si, au contraire, les deux parties par lesquelles les corps se regardent, étaient animées d'une même espèce d'électricité, les deux corps se fuiraient.

Cas où les Attractions et les Répulsions ont lieu simultanément.

566. Les attractions et répulsions électriques se présentent, dans certains cas, sous l'apparence d'un effet qui serait dû à l'action simultanée de deux causes contraires; et ce sont surtout les phénomènes de ce genre qui ont séduit les partisans des affluences et des effluences. Placez des corps légers, tels que de petites feuilles de cuivre, sur un conducteur qui soit d'abord à l'état naturel, et d'autres en-dessous à une petite distance; au moment où vous électriserez le conducteur, celles-là seront repoussées, tandis que les autres seront attirées pour être ensuite repoussées à leur tour. On attribuait le premier effet à la matière effluente, et le second à la matière affluente. De plus, il arrive quelquefois que certaines feuilles, tandis qu'elles sont attirées, reculent subitement avant d'être arrivées au contact : c'est qu'alors elles se trouvaient aux endroits où les deux courans se heurtaient en se rencontrant. Mais la véritable explication de ces phénomènes se présente comme d'elle-même, d'après les principes que nous avons établis. Les corps légers, placés sur le conducteur, sont repoussés, parce qu'il leur communique une portion de son fluide. Ceux qui sont situés en dessous éprouvent la plupart une attraction

qui les porte jusqu'au contact, et à laquelle succède une répulsion, parceque leur partie tournée vers le conducteur, qui était d'abord sollicitée par une électricité contraire à la sienne, en acquiert une de la même nature aussitôt qu'elles sont parvenues au contact ; et quant aux petits corps qui fuient le conducteur avant de l'avoir touché, leur mouvement rétrograde provient de ce que, quand l'électricité est un peu forte, il y a toujours quelques jets de fluide qui s'échappent du conducteur à travers l'air environnant, et qui se portent de préférence sur ceux des mêmes corps qui, étant terminés en pointe, sont par là même très-propres à soutirer le fluide électrique, ainsi que nous le verrons dans la suite ; ensorte qu'ils subissent d'avance l'effet qui n'aurait eu lieu qu'au contact.

Considérations en faveur de l'Hypothèse d'un double Fluide Electrique.

La répulsion des corps que l'on regardait comme étant électrisés négativement, a toujours été l'écueil des théories. Il fallait tâcher de concevoir comment ces corps, dont chacun avait perdu une partie de son fluide, étaient déterminés à s'écarter l'un de l'autre, tandis qu'une surabondance de fluide produisait précisément le même effet. La plupart des physiciens qui ont tenté de résoudre cette difficulté, ont eu recours à l'action de l'air environnant, qu'ils expliquaient par différens mécanismes que nous ne nous arrêterons point à exposer.

Cependant il y avait tout lieu de penser que quand, par exemple, on avait électrisé, d'une part, deux morceaux de résine, et de l'autre, deux corps vitreux, à l'aide du frottement, la répulsion mutuelle des premiers et celle des seconds étaient des effets, en quelque sorte, parallèles, dont il fallait chercher les causes dans les corps eux-mêmes.

567. Ceci nous conduit à une considération qui achevera de motiver l'hypothèse dans laquelle le fluide électrique serait composé de deux fluides différens. Tant que l'on s'est borné à employer, relativement à l'électricité, ces méthodes qui ne

donnent que des à-peu-près, et laissent au physicien la liberté d'accommoder à sa manière de voir ce qui se passe dans les phénomènes, on croyait satisfaire à tout avec un seul fluide. Mais pour bien juger ces méthodes, il faut se reporter au temps où le célèbre Æpinus entreprit de ramener la théorie à la précision et à la justesse, et de la mettre en état de soutenir l'épreuve du calcul. Il partit du principe que les molécules du fluide électrique, qui dans cette théorie était considéré comme un être simple, se repoussaient mutuellement, et pouvaient être attirées par tous les corps connus. Supposant ensuite deux corps A et B dans l'état naturel, et parconséquent en équilibre, il trouvait d'abord que la matière propre du corps A, par exemple, attirait le fluide électrique de B, et que les fluides des deux corps se repoussaient mutuellement, et il prouvait que l'attraction était égale à la répulsion (1). Mais de plus, le fluide électrique de A attirait, à son tour, la matière propre de B, et cette troisième action était encore égale à chacune des deux premières. Or, puisqu'il y avait équilibre, il fallait trouver quelque part une quatrième force qui fût répulsive, et qui balançât l'effet de la troisième. Mais toutes les autres places étant prises, il n'en restait plus, pour cette répulsion, que dans l'action mutuelle des molécules des deux corps; et ainsi Æpinus se trouva entraîné, par la théorie, dans cette étrange conséquence, que, sous le point de vue des phénomènes électriques, les molécules de tous les corps se repoussaient. On voit, en lisant son ouvrage, qu'il rejeta cette conséquence avec une espèce d'indignation, la première fois qu'elle s'offrit à son esprit (2), et qu'il eut besoin de se réconcilier avec elle. Effectivement, il était dur d'être obligé d'avouer qu'il ne tenait qu'à la présence du fluide électrique que les molécules de tous les corps solides ne parussent exercer les unes sur les autres une

(1) Le raisonnement qui le conduisait à ce résultat était semblable à celui que nous avons employé (560) pour démontrer l'égalité des actions qu'exercent les uns sur les autres, les fluides de deux corps dans l'état naturel.

(2) *Tentamen Theor. Electric. et Magnet.*, p. 39.

action directement opposée à la gravitation universelle. C'était donner à la théorie un adversaire bien puissant et bien redoutable. On pare à cet inconvenient, en concevant le fluide électrique comme formé par la réunion de deux fluides, dont l'un fait la fonction qu'Æpinus attribuait aux molécules des corps. Il répugne beaucoup moins d'admettre une répulsion à distance entre les molécules de deux fluides particuliers qui, comme tous les autres, se repoussent déjà au contact, qu'entre celles de tous les corps solides de la nature. Les physiciens qui expliquaient tout avec un seul fluide, avaient commencé eux-mêmes à croire que ses molécules se repoussaient aussi, à distance, d'une surface à l'autre de la bouteille de Leyde; et comme ce que nous appelons *action à distance* n'est proprement qu'un fait sur lequel nous appuyons une théorie, sans rechercher la cause qui fournit le point d'appui, il nous suffit que la manière dont nous concevons ce fait puisse s'adapter à notre Physique, et que toutes nos hypothèses se lient dans notre esprit, comme les véritables causes, dont elles nous servent à représenter les résultats, sont liées dans les desseins de la Sagesse suprême. Enfin l'hypothèse des deux fluides est la seule, jusqu'ici, qui ait, relativement aux deux espèces d'électricité, l'avantage d'établir une parité exacte entre les actions qui produisent des phénomènes que l'observation nous offre sous des traits si ressemblans, et de ramener tout à des explications dont l'une n'est, pour ainsi dire, que la contre-épreuve de l'autre.

Du Pouvoir des Pointes.

Le phénomène dont nous allons maintenant nous occuper, et que l'on a appelé *le pouvoir des pointes*, est, parmi ceux que présente l'électricité, un des plus remarquables, soit en lui-meme, soit par les applications utiles qui en ont été faites pour préserver les édifices des explosions de l'électricité naturelle. Nous nous bornerons, pour l'instant, à le décrire et à en donner la théorie.

568. Rappelons-nous d'abord que quand un corps isolé, qui était auparavant à l'état naturel, se trouve en présence d'un second corps chargé d'électricité de l'une ou l'autre espèce, il devient lui-même électrique, et cela de manière que sa partie la plus voisine du second corps est toujours sollicitée par l'électricité contraire à celle de ce corps (561). Il arrive de même des changemens dans l'état d'un corps conducteur non isolé, qui se trouve dans la sphère d'activité d'un corps électrisé. L'action de celui-ci attire dans la partie antérieure du corps non isolé l'espèce d'électricité différente de la sienne, et repousse dans la partie postérieure l'électricité de la même nature. Or, le second corps agit à son tour sur le premier; il tend à attirer son électricité, et cette action est si forte, dans certaines circonstances, qu'elle enlève l'électricité au premier corps, même à une distance très-sensible : c'est ce qui arrive lorsque l'on présente une pointe déliée de métal à un conducteur chargé d'électricité; et il est singulier de voir un corps, dont l'action semblerait devoir être proportionnée à sa petitesse, soutirer si puissamment l'électricité accumulée sur une surface considérable, et arrêter presque entièrement, en un clin d'œil, tous les efforts du physicien, pour continuer de charger le conducteur.

569. Francklin est le premier qui ait observé ce pouvoir des pointes, et il crut d'abord l'avoir heureusement expliqué, d'après la comparaison entre une pointe et une petite force, qui exécute, en détail et par des actions répétées, ce dont une grande force est incapable, par une seule action dirigée vers la totalité de l'effet. Mais il se défia depuis de son explication, et il en fait l'aveu avec cette belle franchise qui est, pour les vrais savans, une autre manière encore de s'honorer que par des découvertes (1).

(1) Expér. et Observ. sur l'Electricité; Paris, 1752, p. 144 et suiv. On voit par l'exposé que ce célèbre physicien fait lui-même de son idée, qu'elle lui a été suggérée par le trait si connu de Sertorius, qui, voulant montrer à ses soldats combien la persévérance est plus efficace que la fougue, ordonna

Sans

Sans nous arrêter à d'autres explications déjà réfutées, même par les partisans de ceux qui en étaient les auteurs, nous allons essayer de ramener le fait dont il s'agit, à la théorie que nous avons adoptée.

Action d'une Pointe pour soutirer le Fluide Electrique.

570. L'observation prouve qu'un corps, même arrondi, a déjà une certaine force pour attirer le fluide d'un conducteur électrisé, puisqu'il en fait sortir quelquefois des étincelles à la distance de plus d'un décimètre. Il faut donc faire voir que la force d'une simple pointe, pour produire le même effet, est incomparablement plus grande.

Concevons d'abord une seule aiguille *a b* (*fig.* 51), dont la pointe *a* soit tournée vers un conducteur C que nous supposerons chargé d'électricité vitrée, et dont l'extrémité *b* communique avec les corps environnans. L'action du conducteur attirera vers la pointe *a* le fluide résineux *r* qui s'est dégagé du fluide naturel de l'aiguille, et repoussera vers l'extrémité *b* le fluide vitré *v*. Supposons maintenant une seconde aiguille *g d*, placée à une petite distance de la première, dans une direction parallèle à la sienne, et imaginons, pour un instant, que les deux aiguilles n'aient aucune action l'une sur l'autre. Le fluide V du conducteur attirera de même vers la pointe *g* une certaine quantité de fluide *r'* égale à *r*, et provenue de la décomposition du fluide naturel de l'aiguille, tandis qu'il repoussera vers la partie opposée *d* une autre quantité de fluide *v'* égale à *v*. Rétablissons maintenant l'action des deux aiguilles, l'une à l'égard de l'autre; les fluides *r* et *v'* en s'attirant mutuelle-

à un homme bien constitué et plein de vigueur, d'arracher tout d'un coup la queue d'un cheval vieux et maigre, et à un autre homme fluet et débile, d'arracher crin à crin la queue d'un cheval jeune et robuste. Ce dernier parvint, avec le temps, à remplir sa tâche : les efforts de l'autre n'aboutirent qu'à faire rire les spectateurs. *Ibid.*, p. 152.

ment, tendront à se mouvoir l'un de *a* vers *b*, l'autre de *d* vers *g*. Pareillement l'attraction réciproque des fluides *r'* et *v* agira pour ramener l'un de *g* vers *d*, et l'autre de *b* vers *a*. Or ces effets balancent en partie celui du conducteur, pour attirer vers l'extrémité de chaque aiguille le fluide de l'électricité contraire à la sienne.

L'action mutuelle des deux aiguilles deviendra encore plus sensible, si on les rapproche l'une de l'autre, parcequ'elle s'exercera à une moindre distance, et suivant des directions moins obliques.

571. Au lieu de deux aiguilles, supposons-en un très-grand nombre qui soient réunies en faisceau, et ne forment plus qu'un même corps. Elles agiront de même les unes sur les autres pour détruire en partie l'action électrique du conducteur par rapport à chacune d'elles, et cela d'autant plus que leur proximité leur donnera un grand avantage, relativement à la position plus éloignée du conducteur, par une suite de la loi en raison inverse du carré de la distance à laquelle sont soumises les forces électriques. Il en résulte que le fluide de l'électricité résineuse sera incomparablement moins condensé vers l'extrémité du faisceau d'aiguilles, qu'il ne l'eût été vers celle d'une aiguille isolée.

D'une autre part, chaque aiguille réagit sur le conducteur dont elle attire l'électricité; et pour que la force de cette réaction produise l'effet observé, il suffit que l'équilibre soit rompu dans un seul point entre la tendance de l'électricité à s'échapper du conducteur, et la résistance de l'air. La réaction dont il s'agit sera donc beaucoup plus efficace de la part d'une seule aiguille, à l'extrémité de laquelle l'électricité résineuse est très-condensée, et dont toute l'activité se dirige vers un même point du conducteur, que de la part d'un faisceau d'aiguilles dont les forces s'entre-nuisent et ne sont point assez rapprochées; et ainsi une aiguille isolée deviendra capable de provoquer un effluve rapide de fluide électrique, qui abandonnera le conducteur pour se précipiter sur elle, et qu'elle transmettra aux corps environnans, après quoi elle recommencera aussitôt

à soutirer de nouveau fluide, si l'on continue de charger le conducteur.

Or, un corps arrondi peut être comparé à un faisceau d'aiguilles, qui n'exerce qu'une faible action pour dépouiller le conducteur de son électricité, tandis qu'un corps terminé en pointe soutire puissamment cette électricité, par une action semblable à celle de l'aiguille isolée dont nous venons de parler.

Action d'une Pointe pour lancer le Fluide Electrique.

572. On a observé aussi qu'un conducteur sur lequel on a fixé une aiguille, présente, en quelque sorte, l'effet inverse du précédent. Le fluide électrique, dans ce cas, est lancé rapidement par la pointe de l'aiguille à mesure qu'il arrive au conducteur. On expliquera cet effet de la même manière, en supposant d'abord plusieurs aiguilles attachées au conducteur, et en considérant que les forces répulsives mutuelles des portions de fluide répandues dans ces aiguilles, balancent l'action du conducteur pour chasser son propre fluide vers leurs extrémités. Or, on peut substituer par la pensée, à une partie quelconque d'un conducteur arrondi, un faisceau d'aiguilles qui agissent les unes sur les autres, de la manière que nous venons de le dire. Maintenant, qu'une seule aiguille dépasse les autres, ce qui est le cas d'un conducteur terminé en pointe, cette aiguille se trouvera débarrassée de toutes les actions répulsives qu'exerceraient sur elle d'autres aiguilles voisines, pour empêcher le conducteur de repousser une partie de son propre fluide vers l'extrémité de la même aiguille; et comme cette partie de fluide, qui n'occupe qu'une très-petite surface, tend à s'y condenser extrêmement, pour faire seule équilibre à tout le reste du fluide répandu autour du conducteur, sa densité deviendra bientôt capable de vaincre la résistance de l'air, et le fluide s'échappera par la pointe, à mesure qu'il sera fourni par le conducteur.

Aigrette Electrique.

573. De quelque manière qu'un corps aigu soit électrisé, il se produit à son extrémité une lumière que l'on peut appercevoir dans l'obscurité. Mais cette lumière varie dans son aspect, suivant la nature de l'électricité qui agit sur le corps aigu. Supposons qu'un corps de cette figure soit fixé sur un conducteur électrisé vitreusement : dans ce cas, le fluide vitré sortira sous la forme d'une belle aigrette lumineuse, dont les rayons exciteront dans l'air un mouvement de vibration accompagné d'un léger bruissement. Si au contraire le conducteur est électrisé résineusement, on ne verra qu'un point lumineux à l'extrémité du corps aigu.

574. La même diversité d'effets aura lieu dans le cas où le corps aigu, étant en communication avec les corps environnans, aurait sa pointe tournée vers un conducteur électrisé; le corps aigu donnera une aigrette, si cette électricité est résineuse, et un simple point de lumière, si elle est vitrée. On peut obtenir ces deux effets, en présentant une pointe de métal alternativement vis-à-vis du crochet et de la garniture extérieure d'une bouteille de Leyde, chargée à l'ordinaire, et suspendue dans l'air au moyen d'un cordon de soie; on verra le point lumineux et l'aigrette se succéder en devenant toujours moins sensibles, et finir par disparaître au moment où la bouteille qui, dans ce cas, se décharge peu à peu, aura repris son état naturel.

Cette expérience fournit, comme l'on voit, un moyen simple de distinguer l'espèce d'électricité dont un conducteur est chargé, en lui présentant une pointe à la distance de quelques centimètres. Nous reviendrons dans la suite sur les circonstances qui peuvent modifier ainsi l'aspect de la lumière produite par les phénomènes dont nous venons de parler.

Etincelle Electrique.

575. Lorsqu'on approche d'un conducteur électrisé un autre corps de nature conductrice, et d'une forme arrondie, l'action de celui-ci, beaucoup moins forte que dans le cas d'une pointe, se borne d'abord à attirer dans la partie antérieure du conducteur une nouvelle quantité de fluide, qui est maintenue par la résistance de l'air; cette quantité augmente, et en même temps les deux parties par lesquelles les corps se regardent, s'électrisent de plus en plus, à mesure que la distance diminue; et il y a un terme où l'air cédant à la force d'attraction qui sollicite les deux fluides, ceux-ci s'échappent avec une espèce d'explosion, pour se réunir l'un à l'autre, et cette explosion est accompagnée d'une vive étincelle.

Tous ceux qui ont vu des expériences électriques, savent qu'un homme placé sur un support à isoler et mis en communication avec le conducteur de la machine, devient à son tour capable d'étinceler, et d'offrir divers autres phénomènes observés, pour la première fois, par Dufay, qui ne pouvait revenir de sa surprise, en voyant que le pouvoir de les produire, déjà si singulier dans la machine, avait passé dans l'observateur lui-même.

On sait aussi que lorsqu'on présente à cet homme électrisé une cuiller pleine d'alkohol légérement chauffé, ou d'éther à froid, l'approche de son doigt fait naître à-la-fois la lumière et l'inflammation.

Pistolet Electrique.

576. Une des expériences les plus intéressantes, relatives à la faculté qu'a le fluide électrique d'allumer différens corps, est celle qui se fait au moyen d'un instrument dont l'invention est due au célèbre Volta, et qui porte le nom de *pistolet électrique*. Il consiste dans un vase de cuivre en forme de sphéroïde alongé, qui est percé à ses deux sommets. Dans l'une

des ouvertures, on introduit un tube de verre exactement de même diamètre, qui, d'un côté, dépasse le vase d'environ un centimètre, et de l'autre, se plonge à l'intérieur jusque vers le milieu de la cavité du vase. Ce tube est traversé par une tige métallique, dont la partie supérieure, qui est saillante au-dessus de la sienne, porte une boule du même métal, et dont la partie inférieure excède aussi le prolongement du tube à l'intérieur. L'autre ouverture, qui est beaucoup plus grande, sert à introduire dans le vase un mélange de parties égales de gaz inflammable et d'air atmosphérique, après quoi on ferme l'ouverture avec un bouchon. On prend ensuite le vase dans la main par le milieu de sa convexité, et l'on présente la boule de métal située au-dessus du tube à un conducteur électrisé, pour en tirer une étincelle. Le fluide électrique ne pouvant se communiquer au vase, parceque le tube l'en empêche, passe le long de la tige qui traverse ce tube, et à l'instant le gaz inflammable s'allume, et sort avec une vive explosion, en faisant sauter le bouchon qui s'oppose à son passage.

Effets de l'Electricité dans le Vide.

577. Nous avons vu que le fluide électrique, vitré ou résineux, à l'état de liberté, n'a aucune affinité pour les différens corps, et n'est maintenu à leur surface que par la résistance de l'air environnant. Cette observation suffit pour indiquer que si l'on supprime l'air qui entoure un corps électrisé, le fluide sera sollicité par la force répulsive mutuelle de ses molécules à se répandre dans l'espace, et l'expérience fait voir que cette espèce d'effusion est toujours accompagnée de lumière. Ayez un long tube de verre, terminé d'un côté par une virole de cuivre, et de l'autre par un robinet que vous ouvrirez pour faire le vide dans le tube, et que vous fermerez ensuite exactement; mettez la virole en contact avec un conducteur qui reçoive sans cesse de nouveau fluide au moyen de la machine électrique; et tenez en même temps le tube

par le robinet, vous verrez paraître un flot d'une lumière purpurine, qui remplira le tube, et se renouvellera continuellement. Si vous vous servez de la virole pour faire étinceler le conducteur, le jet de lumière, dont l'apparition, dans ce cas, aura lieu par de petites interruptions, en deviendra beaucoup plus éclatant. On a cherché à diversifier le phénomène, en modifiant de plusieurs manières l'appareil destiné à le produire, pour déterminer le fluide à prendre la forme d'une cascade, d'une gerbe, d'un soleil, et multiplier, par rapport à l'œil, les beaux effets de ces expériences, dignes d'occuper un des premiers rangs parmi celles qui font spectacle.

Odeur que répand l'Electricité.

578. Lorsque le fluide électrique est déterminé à s'échapper d'un corps, et à traverser l'air environnant, il arrive assez souvent qu'il y répand une odeur analogue à celle de l'ail ou du phosphore. Cette odeur devient surtout sensible, lorsqu'on s'approche d'une aigrette lumineuse qui s'élance d'un corps aigu fixé sur le conducteur de la machine.

De l'Expérience de Leyde.

Nous voici arrivés à l'explication d'un des faits les plus importans qui aient été découverts, relativement à l'électricité : c'est celui qui est connu sous le nom d'*expérience de Leyde.* Quelques-uns attribuent cette découverte à Cunéus, d'autres à Musschenbroek, qui en fit part aussitôt à Réaumur. Jamais la nouvelle d'un événement extraordinaire n'excita une sensation plus générale. Il n'y eut personne qui ne voulut se faire électriser ; c'était l'expression dont on se servait, et qui s'est perpétuée, comme si la singularité de l'expérience avait fait oublier qu'il y avait beaucoup d'autres manières d'électriser un corps. L'intérêt même fit des physiciens qui étalaient des machines électriques sur les places, et, pour la

première fois, la multitude courut y admirer des merveilles au lieu de prestiges.

579. Voici d'abord la manière ordinaire dont se fait l'expérience : on a une bouteille de verre *ag* (*fig*, 52, Pl. 4.), dont la surface extérieure est recouverte d'une feuille d'étain battu, jusqu'à une certaine hauteur *cd*. L'intérieur est rempli, jusqu'à la même hauteur, de menu plomb ou de feuilles minces de cuivre. Dans l'explication que nous donnerons des effets de la bouteille, nous considérerons cette matière intérieure, comme tenant lieu d'une garniture semblable à celle qui est appliquée sur la surface extérieure. La bouteille a un bouchon de liége, traversé par une tige *an* de métal, dont la partie inférieure communique avec les corps qui garnissent la capacité de la bouteille, et dont la partie supérieure, qui est recourbée, se termine par une boule métallique *b*. On prend d'une main la bouteille par le bas, et l'on met la boule *b* en contact, pendant quelques instans, avec le conducteur d'une machine électrique dont le plateau est en mouvement ; on retire ensuite la bouteille, et on touche la boule *b* avec un doigt de l'autre main, ou avec un corps métallique que l'on tient dans cette même main. Aussitôt on se sent frappé avec plus ou moins de violence dans les deux bras, surtout aux articulations, et quelquefois même dans la poitrine et dans d'autres parties du corps.

580. Francklin faisait consister la cause du phénomène que nous venons d'exposer, dans l'accumulation du fluide électrique sur la surface intérieure de la bouteille, tandis qu'une égale portion de celui de la surface extérieure était chassée dans les corps environnans par la force répulsive du premier fluide. Il en résultait que la quantité absolue d'électricité contenue dans la bouteille était la même qu'auparavant, la surface extérieure ayant perdu autant de fluide, dans le passage à l'état négatif, que la surface intérieure en avait reçu du conducteur dans le passage à l'état positif. La décharge avait lieu par une restitution subite, que faisait la surface intérieure à la surface extérieure, de tout le fluide qu'elle avait de

plus, au moyen de la communication établie entre les deux surfaces.

Æpinus ajouta à cette explication un nouveau degré de précision et de justesse; et c'est en nous rapprochant de ses principes que nous allons la développer, d'après l'hypothèse des deux fluides.

Idée générale de la Cause d'où dépend la Commotion.

581. Pour concevoir plus nettement la manière dont se charge la bouteille, rappelons-nous d'abord le cas où un corps conducteur, à l'état naturel et non isolé, s'approche par degrés du conducteur d'une machine ordinaire, dont le plateau est en mouvement (561). Dans ce cas, le fluide naturel du premier corps est décomposé, et le fluide vitré qui résulte de cette décomposition est repoussé dans les corps environnans, tandis que le fluide résineux est attiré vers l'extrémité qui regarde le conducteur de la machine. La quantité de ce fluide augmente à mesure que la distance diminue entre les deux corps; mais son accroissement n'a lieu que jusqu'au terme peu reculé, où l'attraction réciproque entre ce fluide et le fluide vitré fourni par la machine, devient capable de surmonter la résistance de l'air, et détermine ces fluides à s'échapper pour se réunir. Supposons maintenant que l'on place entre les deux corps une lame de verre qui, étant à-la-fois solide et imperméable au fluide électrique, oppose un obstacle comme invincible à la réunion des fluides vitré et résineux qui, dans le cas précédent, s'ouvraient bientôt un passage à travers les molécules mobiles de l'air. Rien alors n'empêchera de mettre le conducteur de la machine et le corps non-isolé en contact l'un et l'autre avec les faces de la lame de verre, et cette proximité donnera lieu à un dégagement beaucoup plus abondant des deux fluides, qui d'ailleurs ne pourront se réunir; et si l'on suppose, de plus, que chacune des faces de la lame de verre soit garnie d'une feuille de métal qui se termine à

une certaine distance des bords, pour empêcher la communication d'une surface à l'autre, chaque fluide se répandra sur la garniture située de son côté, et cet effet, dû à l'attraction réciproque des deux fluides, ira en augmentant, jusqu'à une certaine limite que nous déterminerons dans un instant.

Voilà, en général, ce qui se passe lorsqu'on charge une bouteille de Leyde. Cet instrument n'est autre chose qu'un intermédiaire entre deux fluides, l'un vitré fourni par le conducteur, l'autre résineux fourni par les corps environnans, dont le développement, beaucoup plus considérable que celui qui aurait lieu sans cet intermédiaire, prépare une explosion beaucoup plus forte, lorsqu'ensuite ces fluides se réuniront subitement à l'instant de la décharge.

Explication détaillée du Phénomène.

582. Concevons que A B (*fig.* 53) représente un segment de la lame de verre qui forme le ventre de la bouteille armée à l'ordinaire, *inpl* une portion de la matière métallique contiguë à la surface intérieure, et *oxst* une portion de la feuille d'étain qui recouvre la surface extérieure ; que D soit un conducteur qui fasse partie d'une machine électrique, et touche le métal *in* par son extrémité, et qu'enfin *ch* soit une chaîne ou une matière conductrice quelconque adhérente par une extrémité au métal *ox*, et en communication avec le réservoir commun par son extrémité opposée.

Supposons que le conducteur D acquière, par le mouvement du plateau, une certaine quantité de fluide vitré. Aussitôt que ce fluide commence à se répandre sur le métal *in*, son action décompose le fluide naturel de la chaîne et de tous les corps environnans auxquels cette action peut s'étendre ; d'où l'on conclura, en appliquant ici les principes exposés précédemment (581), que la surface *ox* doit se charger de fluide résineux aux dépens de la chaîne et des corps voisins, tandis que le fluide vitré, sorti de la combinaison, est repoussé dans un sens contraire au mouvement du premier.

Soit v' une molécule de fluide vitré, qui s'échappe le long de la chaîne. Soit R la quantité de fluide résineux qui, à cet instant, est répandu sur la surface *ox*, et V celle de fluide vitré qui appartient à la surface *in*. La molécule v', en même temps qu'elle obéit à la force répulsive du fluide V, est sollicitée par l'attraction du fluide R qui tend à la retenir ; et puisque la répulsion de V l'emporte, et que d'ailleurs elle agit de plus loin sur la molécule v', nous en conclurons que la quantité de fluide vitré contenue dans V est plus grande que la quantité de fluide résineux renfermée dans R, ce qui est plus exact que dans la théorie de Francklin (580), où l'on supposait les deux surfaces également électrisées, l'une en plus, l'autre en moins.

D'une autre part, les molécules qui composent le fluide R, tendent à se fuir en vertu de leur force répulsive mutuelle. Mais cette force est balancée par l'attraction des molécules du fluide V, qui regagnent, par l'avantage du nombre, ce qu'elles perdent encore ici du côté de la distance. Ces dernières molécules sont de même sollicitées à s'écarter, en se repoussant mutuellement, et cette force ne peut être entièrement vaincue par l'attraction du fluide R, dont la quantité est moindre, et qui agit de plus loin que la répulsion dont on vient de parler. Ainsi, il y aura une portion excédente de fluide V, qui ne sera maintenue que par la résistance de l'air environnant.

Nous pouvons donc imaginer que le fluide V soit composé d'une portion U, qui est retenue le long de *in* par l'attraction de R, et d'une autre portion *u*, dont les molécules ne trouvent d'obstacle à l'effet de leur répulsion mutuelle, que dans la résistance de l'air (1).

Si l'on continue d'électriser le conducteur D, la quantité de fluide dont V s'accroîtra, déterminera la décomposition

(1) Il est visible que la quantité de fluide U sera toujours moindre que la quantité de fluide R, comme cette dernière est moindre que celle qui est renfermée dans V ou dans U + *u*.

d'une nouvelle portion du fluide naturel contenu dans les corps en communication avec ox ; mais en même temps l'attraction du fluide R, devenu plus abondant, s'accroîtra à l'égard de chaque nouvelle molécule v' qui tend à s'échapper, ce qui exigera que la quantité z de fluide vitré, employée à compenser la distance, augmente de son côté, et il y aura un terme où le fluide u n'aura plus que la force nécessaire pour balancer la résistance de l'air. Passé cette limite, si l'on poursuit l'électrisation, toutes les nouvelles molécules de fluide que le conducteur D fournira, s'échapperont successivement, c'est-à-dire, que la lame de verre se trouvera parvenue à son point de saturation ; car on voit bien qu'alors il ne pourra plus rien se dégager des corps en communication avec ox, parcequ'autant la force de V agirait pour repousser, par exemple, une molécule de fluide vitré qui sortirait de la combinaison, autant l'attraction de R agirait pour la retenir.

583. Les choses étant dans cet état, vous détachez la chaîne *ch*, et vous appliquez un doigt sur la surface ox. Il n'arrivera rien de nouveau en vertu de ce contact ; car vous ne faites que substituer votre doigt à la chaîne dont tous les points étaient sollicités, ainsi que nous l'avons remarqué, par des forces qui se faisaient équilibre. Maintenant vous portez le même doigt sur la surface *in*. Or, ici l'équilibre n'a plus lieu, parceque rien ne balance l'action de la portion de fluide u, qui n'est retenue que par la résistance de l'air. Cette portion excédente agira donc sur le fluide naturel du doigt, pour le décomposer ; elle repoussera le fluide vitré de ce doigt vers les parties postérieures, et s'unira avec le fluide résineux, pour recomposer du fluide naturel qui se perdra dans les corps environnans.

Quant au fluide U, il continuera d'être maintenu sur la surface *in*, par l'attraction du fluide R, et l'équilibre sera rétabli entre les forces électriques rapportées aux différens points de cette surface. Mais il sera rompu à la surface ox, parceque la portion d'électricité résineuse qui s'y trouvait retenue par l'attraction du fluide u, que le doigt a enlevé, ne le sera plus

que par l'air adjacent. Donc, si vous ramenez le doigt vers la surface *ox*, il se fera de nouveau une décomposition du fluide de ce doigt en sens contraire, de manière que la partie vitrée du même fluide s'unira avec celle du fluide R, qui était en excès.

Il est facile maintenant de concevoir qu'en appliquant successivement le doigt sur les deux surfaces, où l'équilibre entre les forces électriques sera de même troublé tour à tour, vous parviendrez par degrés à décharger entièrement la bouteille, c'est-à-dire, que chacune des deux surfaces se dépouillera de son excès d'électricité vitrée ou résineuse, après quoi elle se trouvera ramenée à son état natnrel. On observe, en pareil cas, que le rétablissement de l'équilibre devient sensible chaque fois, par une petite étincelle qui jaillit entre le doigt et la surface touchée.

Or, si au lieu de décharger ainsi la lame de verre en détail, vous appliquez en même temps les deux mains sur les dcux faces opposées de cette lame, tous les effets qui se succédaient dans la première manière d'opérer, concourront à-la-fois; ensorte que les deux faces attireront les fluides d'espèce différente, qui font partie du fluide naturel des deux bras, pour se combiner avec ces fluides, et repousseront, avec la même vîtesse, les fluides hétérogènes l'un vers l'autre; et c'est à cette complication d'effets, qui ont lieu avec une grande énergie et d'une manière sensiblement instantanée, qu'est due en général la forte commotion qu'éprouve celui qui fait l'expérience de Leyde. C'est un résultat de mécanique, si l'on se borne à considérer les forces dont il dépend. C'est une double opération d'analyse et de synthèse, si l'on conçoit ces forces comme existantes dans des agens suggérés par une théorie plausible.

584. Lorsqu'on décharge la lame de verre par des contacts répétés, comme nous l'avons exposé il n'y a qu'un instant, les quantités de fluide vitré ou résineux, que le doigt enlève successivement à chaque surface *in* ou *ox*, diminuent nécessairement d'un contact à l'autre. Biot ayant cherché, par le calcul, la loi de cette diminution, a été conduit à ce résultat intéres-

sant, que les quantités de fluide dont il s'agit forment une progression géométrique (1).

585. Ce qui rendait l'expérience de Leyde encore plus curieuse, c'est qu'on pouvait la faire en société, desorte que plusieurs centaines de personnes rangées en demi-cercle, étaient toutes frappées au même instant. On résolut d'étendre encore le champ de l'expérience, en faisant entrer dans la communication, indépendamment de plusieurs observateurs, l'eau d'une rivière, de longs fils de fer, et même des portions

---

(1) Voici la démonstration de ce résultat, telle que son célèbre auteur a bien voulu nous la confier. Soit A (*fig.* 54), la surface de la lame de verre qui communiquait avec le conducteur, B celle qui communiquait avec le sol; désignons par E la quantité de fluide vitré qui était accumulée sur A au moment où l'on a isolé la lame, et par e la quantité de fluide résineux qui était fixée sur B. Il y aura entre E et e un certain rapport dépendant de l'épaisseur de la lame; ce rapport sera constant pour une même lame, puisque si E dissimule e, kE dissimulera ke à la même distance. On aura donc entre e et E l'équation $e + m\mathrm{E} = 0$, m étant une constante positive et moindre que l'unité.

Au moment où l'on touche A, une partie du fluide qui s'y trouvait accumulé s'écoule dans le sol, et il ne reste que la quantité que e peut dissimuler à distance. Soit E′ cette quantité, il y aura entre E′ et e la même relation qu'entre e et E, ce qui donnera $\mathrm{E}' + me = 0$. La tension sera alors du côté de l'électricité e. Si l'on touche ensuite B, il y restera une certaine quantité d'électricité que nous nommerons e'; la tension renaîtra sur l'autre face, et l'on aura $e' + m\mathrm{E}' = 0$.

En continuant de représenter les effets des différens contacts, on trouvera une série d'équations semblables aux précédentes; et en les réunissant à celles-ci, on aura,

$$e + m\mathrm{E} = 0.$$
$$\mathrm{E}' + me = 0.$$
$$e' + m\mathrm{E}' = 0.$$
$$\mathrm{E}'' + me' = 0.$$
$$e^{n} + m\mathrm{E}^{n} = 0.$$
$$\mathrm{E}^{(n+1)} + me^{n} = 0,$$

n étant le nombre des contacts. On tire de là les deux systèmes suivans d'équations, qui se rapportent chacun à l'une des faces de la lame de verre.

$$\mathrm{E}' = m^2\mathrm{E}. \qquad e' = m^2 e.$$
$$\mathrm{E}'' = m^2\mathrm{E}'. \qquad e'' = m^2 e'.$$
$$\mathrm{E}^{(n+1)} = m^2\mathrm{E}^{n}. \qquad e^{(n+1)} = m^2 e^{n}.$$

de terrain. Les Français commencèrent, et firent parcourir à la commotion un espace de deux mille toises, à travers lequel elle fut transmise d'une manière très-sensible. Les Anglais enchérirent sur ce résultat, et dans une de leurs expériences, le voyage (car c'en est un) fut de quatre milles d'Angleterre. Ils essayèrent de mesurer la vîtesse de la commotion, par un moyen analogue à celui qu'on a employé pour estimer celle du son (477). Mais la différence entre le moment du départ et celui du retour, leur parut inappréciable.

Le premier système fait connaître les quantités de fluide qui restent successivement sur la face A, et le second celles qui restent sur la face B.

D'après ces formules, on peut calculer les quantités dont il s'agit en fonctions des premières, et l'on aura

$E' = m^2 E.$ $\quad e' = m^2 e.$

$E'' = m^4 E.$ $\quad e'' = m^4 e.$

$E^{(n+1)} = m^{2(n+1)} E.$ $\quad e^{(n+1)} = m^{2(n+1)} e.$

Et il est visible qu'elles forment une progression géométrique. Leurs différences donneront les pertes de fluide faites successivement par les deux faces, en vertu des contacts répétés. Elles seront exprimées par

$E - E' = (1 - m^2) E.$ $\quad e - e' = (1 - m^2) e.$

$E' - E'' = (1 - m^2) m^2 E.$ $\quad e' - e'' = (1 - m^2) m^2 e.$

$E^n - E^{(n+1)} = (1 - m^2) m^{2n} E.$ $\quad e^n - e^{(n+1)} = (1 - m^2) m^{2n} e.$

Et l'on conçoit, à la simple inspection de ces formules, que les pertes de fluide qui ont lieu, relativement à chaque face, à mesure que l'on décharge la lame, suivent de même une progression géométrique décroissante, dont la raison est m. Ainsi plus cette quantité m sera petite, plus aussi les quantités restantes de fluide et les pertes qui leur correspondent décroîtront rapidement; ensorte qu'après un petit nombre de contacts, elles deviendront insensibles, et la lame paraîtra entièrement déchargée. Comme la valeur de m dépend de l'épaisseur du verre, on voit qu'une lame très-mince exigera plus de temps pour se décharger de cette manière, qu'une lame plus épaisse.

A la rigueur, il faudrait une suite infinie de contacts pour décharger entièrement la lame de verre; car si l'on ajoute les formules qui donnent les pertes successives, en supposant celles-ci continuées à l'infini, on trouve pour leur somme $(1 - m^2) E (1 + m^2 + m^4 + \ldots\ldots.)$. La série comprise entre les deux crochets a pour somme $\frac{1}{1 - m^2}$, et il en résulte que la somme totale des pertes relatives à la face A est égale à E. On trouvera de même que la somme des pertes de la face B est représentée par e. Mais c'est là un cas purement mathématique, et il arrive en général, qu'après un certain nombre de contacts, la quantité d'électricité restante cesse d'être sensible.

586. Si l'on voulait se servir de la bouteille, pour rendre sensible l'explication que nous avons donnée de ses effets (582), en supposant qu'elle soit déchargée progressivement par des contacts répétés aux deux surfaces, on l'électriserait d'abord comme nous l'avons dit, puis on ferait passer sous le crochet *m* (*fig.* 52), un cordon de soie, à l'aide duquel on la tiendrait suspendue, ou bien on la poserait sur un isoloir, après quoi on toucherait alternativement, avec un doigt, la boule *b* et la garniture extérieure.

587. Si la bouteille était isolée pendant que la boule *b* est en contact avec le conducteur de la machine, elle ne se chargerait pas, surtout dans le cas où l'air environnant serait très-sec. Seulement sa surface intérieure recevrait du conducteur une petite quantité de fluide, dont la répulsion étant sans effet sur le fluide de même nom, situé dans la garniture extérieure, ne pourrait faire passer celle-ci à l'état opposé, comme cela est nécessaire pour déterminer la charge de la bouteille.

588. Plus la bouteille est mince, et plus, toutes choses égales d'ailleurs, elle s'électrise fortement. Car, d'un côté, le fluide vitré de *ilpn* (*fig.* 53.) agit avec plus d'énergie sur celui de la partie opposée, à raison d'une moindre distance entre les deux surfaces. D'une autre part, le fluide résineux à l'état de liberté sur la lame *otsx*, étant plus abondant, devient capable de maintenir, par son attraction, une plus grande quantité de fluide vitré dans la lame *ilpn*; d'où il suit que le point de saturation de la bouteille sera plus élevé que si le verre avait eu plus d'épaisseur. Dans le même cas, les deux quantités de fluide V et R différeront moins l'une de l'autre, ou, ce qui revient au même, la quantité *u*, qui compense ce que la force du fluide de *ilpn* perd relativement à la distance, sera plus petite, puisque la distance elle-même se trouvera diminuée, ensorte que cette quantité deviendra nulle si l'on suppose l'épaisseur du verre infiniment petite.

589. Comme le verre n'est jamais parfaitement imperméable au fluide électrique, il y a toujours une certaine quantité de fluide vitré ou résineux qui pénètre un peu dans l'épaisseur de la

la bouteille, où elle est comme refoulée, pendant que celle-ci s'électrise. Au moment où l'on décharge la bouteille, cette portion de fluide reste engagée dans le verre, par une suite de la force coercitive, ensorte qu'elle n'entre pour rien dans l'effet qui se produit alors. Mais ensuite ses molécules se dégagent les unes après les autres, et passent dans la garniture où elles déterminent une nouvelle disposition à donner la commotion, quoique dans un degré beaucoup plus faible que la première fois. C'est ce qu'éprouvent souvent ceux qui ayant fait l'expérience de Leyde, et croyant la bouteille entièrement déchargée, la reprennent au bout d'un instant; et portant de nouveau le doigt à la boule qui termine le crochet, sont surpris de recevoir encore une commotion; ce qui peut avoir lieu à plusieurs reprises, par des degrés toujours décroissans.

590. Lorsqu'on veut décharger la bouteille, sans aucune commotion, on se sert d'une verge de cuivre *efh* (*fig.* 56), recourbée en arc et terminée par deux boules, à laquelle on a donné le nom d'*excitateur*. On la prend dans la main, à l'endroit *f* de sa courbure, on pose la boule *h* sur quelque point de la garniture extérieure de la bouteille, puis on approche la boule *e* de celle qui termine le crochet, et l'on produit ainsi impunément la décharge, qui est accompagnée d'une forte étincelle. On peut, par le même moyen, allumer du coton. Pour y parvenir, on enveloppe la boule *b* (*fig.* 52) d'une couche mince de cette substance filamenteuse, que l'on saupoudre ensuite de résine broyée; au moment de la décharge, l'étincelle détermine l'inflammation du coton.

591. On dit d'une bouteille de Leyde qu'elle est *électrisée vitreusement*, lorsque sa garniture intérieure et son crochet sont à l'état vitré, comme dans le cas que nous venons de considérer. Lorsqu'on veut la charger résineusement, ou de manière que sa surface intérieure parvienne à l'état résineux, on la prend par le crochet, et on maintient sa garniture extérieure en contact avec le conducteur de la machine, pendant que le plateau de verre est en mouvement. On la retire après quelques instans, et on la place sur un isoloir. On peut s'en servir alors

pour recevoir la commotion, comme nous l'avons expliqué plus haut (579). Dans ce cas, la bouteille étant chargée en sens inverse de celui qui a lieu, lorsqu'en s'électrisant, elle communiquait par son crochet avec le conducteur de la machine, la même inversion subsiste par rapport aux mouvemens des deux fluides dont la réunion détermine la décharge de la bouteille.

Carreau Fulminant.

592. On substitue quelquefois à la bouteille un carreau de verre garni, sur chacune de ses faces, d'une feuille d'étain, qui ne s'étend pas jusqu'aux bords de ce carreau, mais qui laisse tout à l'entour environ 54 millimètres, ou 2 pouces, à découvert. On met le carreau à plat sur une table, et l'on interpose, entre cette table et la garniture inférieure, une petite chaîne qui descend jusqu'au sol. On établit, au moyen d'une tige de métal, une communication entre la garniture supérieure et le conducteur de la machine. Au moment où l'appareil est fortement électrisé, si l'on prend d'une main la chaîne en contact avec la garniture inférieure, et que, de l'autre main, on touche la garniture supérieure, on reçoit une violente commotion. Mais il est facile de l'éviter, en se servant d'un excitateur pour décharger l'appareil. On a donné au carreau de verre dont il s'agit ici, les noms de *carreau magique* et de *carreau fulminant*.

Charge par Cascade.

593. On peut charger à la fois plusieurs bouteilles, en les disposant de la manière suivante. On suspend au conducteur de la machine une première bouteille, sous laquelle est attaché un crochet. On se sert de ce crochet pour suspendre une seconde bouteille à la première. On continue la série, à l'aide du même moyen, et on suspend au crochet fixé sous la dernière bouteille, une chaîne qui communique avec le sol. Lorsqu'ensuite on met le plateau de la machine en mouvement, le fluide

vitré, qui s'accumule sur la garniture intérieure de la première bouteille, décompose le fluide naturel de la garniture extérieure, et repousse la partie vitrée de ce fluide dans la garniture intérieure de la seconde bouteille, et ainsi successivement. Il en résulte que toutes les surfaces se chargent l'une par l'intermède de l'autre, excepté la première, qui reçoit sa charge du conducteur, et la dernière, qui reçoit la sienne des corps environnans. Si l'on détache la chaîne suspendue sous la dernière bouteille, on pourra les décharger toutes en détail, comme nous l'avons exposé dans le cas d'une seule bouteille (583), en se bornant à toucher alternativement, d'abord le bouton qui communique avec la garniture intérieure de la première, puis la garniture extérieure de la dernière (1). On pourra aussi décharger tout d'un coup l'ensemble des bouteilles, en recevant la commotion, par les contacts simultanés des deux mains appliquées aux mêmes endroits. Cette manière de charger plu-

(1) Biot a étendu au cas que nous considérons ici, l'analyse qui lui a servi à déterminer la loi à laquelle sont soumises les pertes que les deux surfaces d'une même bouteille font de leur fluide par des contacts successifs. Pour développer ce nouveau résultat, il se borne à considérer les états de trois lames de verre (*fig.* 55) qui communiquent entre elles, et qui représentent trois bouteilles disposées comme nous l'avons dit. Ces lames étant censées être égales en tout, on aura d'abord

$e + mE = 0.$

$e_1 + mE_1 = 0.$

$e_2 + mE_2 = 0.$

Mais il y a de plus ici des conditions particulières, qui sont que e et E_1 résultent de la décomposition du fluide naturel de la face B, et que de même e_1 et E_2 résultent de la décomposition du fluide naturel de la face B′. De là deux nouvelles équations à joindre aux précédentes, et qui seront

$e + E_1 = 0.$

$e_1 + E_2 = 0.$

Si l'on touche la face A, B″ étant isolé, toutes les quantités de fluide varieront, excepté e_2; et en les désignant par les memes lettres, on aura

$E' + me' = 0. \qquad e' + E'_1 = 0.$

$E'_1 + me'_1 = 0. \qquad e'_1 + E'_2 = 0.$

$E'_2 + me'_2 = 0.$

Et ainsi de suite à chaque contact.

sieurs bouteilles suspendues l'une à l'autre, se nomme *la charge par cascade.*

Effets des Batteries Electriques.

594. D'après l'observation que l'effet de la décharge a lieu avec plus d'énergie, à mesure que l'on augmente l'étendue des surfaces sur lesquelles les deux fluides s'accumulent, on a imaginé ces puissantes batteries qui résultent d'un assemblage de plusieurs jarres que l'on fait agir toutes à la fois. Au moyen de cet appareil, un fil de fer qui est censé faire partie de l'excitateur, devient incandescent, et se disperse en une infinité de petits grains qui sont à l'état d'oxyde. On place une feuille d'or entre deux glaces que l'on serre fortement l'une contre l'autre, à l'aide d'une petite presse de bois; l'une des extrémités de la feuille communique avec la garniture extérieure de l'appareil, et l'autre avec une des boules de l'excitateur. On fait passer

---

Les formnles relatives an premier état d'équilibre donnent, par l'élimination,

$e + mE = o.$ $E_1 - mE = o.$
$e_1 + m^2E = o.$ $E_2 - m^2E = o.$
$e_2 + m^3E = o.$

Ensorte que les quantités de fluide dissimulées sur chacune des faces B, B′, B″, suivent une progression géométrique décroissante. Il en serait de même, quel que fût le nombre des lames mises en communication, et la dernière serait beanconp moins chargée qne la première. Cette différence sera d'antant plns grande, que m sera moindre, et parconséquent elle croîtra à mesnre qne les lames seront plus épaisses.

En combinant les formules relatives au premier contact, on tronve

$E' + m^3e_2 = o.$
$E'_1 + m^2e_1 = o.$
$E'_2 + me_2 = o.$

En mettant pour e sa valeur, il vient

$E' - m^6E = o.$
$E'_1 - m^5E = o.$
$E'_2 - m^4E = o.$

La quantité E′ de flnide qui reste sur la face A, après le premier contact, est douc aussi beaucoup moindre que s'il n'y avait eu qu'une seule lame.

ainsi la décharge à travers le métal qui se réduit en poudre et s'incruste dans le verre. Un oiseau placé de manière à recevoir la commotion, est frappé de mort. Le spectateur, effrayé de la violente explosion qui produit ces phénomènes, est moins surpris d'entendre dire que la matière de l'électricité soit la même que celle de la foudre.

595. A l'égard des effets qui ont lieu lorsqu'on fait subir une forte commotion à une lame très-mince de métal, comme dans l'expérience que nous venons de citer, il paraît que leur véritable cause est la force expansive du fluide électrique qui agit pour dilater les corps, et écarter leurs molécules les unes des autres. Si le métal n'est pas oxydable immédiatement, l'action de cette force expansive se borne à disperser ses molécules. L'élévation de température qui survient dans ce cas, est due vraisemblablement à ce que les parties qui se dilatent davantage, compriment celles qui se dilatent moins; d'où résulte une espèce de condensation qui occasionne un dégagement de chaleur (227). Berthollet et Charles ayant fait passer de puissantes décharges électriques à travers un fil de platine, observèrent que ce fil avait seulement acquis une chaleur qu'ils jugèrent à-peu-près égale à celle de l'eau bouillante, et qui était parconséquent très-inférieure à la chaleur capable d'opérer la fusion du platine. Si le métal est susceptible de s'oxyder facilement; si c'est par exemple un fil de fer ou de cuivre, l'écartement des molécules, en diminuant leur affinité réciproque, les dispose à s'unir avec l'oxygène de l'air environnant, et c'est alors l'oxydation elle-même qui produit le haut degré de chaleur auquel le métal se trouve exposé (1).

Solution de plusieurs Difficultés.

596. Parmi les différens résultats que l'on obtient, à l'aide d'une explosion électrique, il en est un qui a fourni aux partisans de la doctrine de Francklin une objection spécieuse contre

(1) Statique Chimique, t. I, pp. 209 et 263.

l'hypothèse des deux fluides; voici en quoi il consiste. Soient *amb*, *cnd* (*fig.* 57) deux conducteurs métalliques, dont l'un, tel que *amb*, communique avec la surface intérieure d'une batterie, et l'autre *cnd* avec sa surface extérieure. Supposons que l'on place entre ces deux conducteurs une carte dont GH représente la projection verticale, de manière que le conducteur *amb* touche cette carte en dessous, et que le conducteur *cnd* la touche en dessus. Si l'on électrise la batterie à l'ordinaire, il y aura un terme où les deux fluides se trouveront tellement accumulés dans les conducteurs, que leur attraction mutuelle donnera lieu à une décharge spontanée de la batterie. Dans ce cas l'étincelle, en partant de l'extrémité *m* du conducteur qui est à l'état vitré, glisse sur la surface *mt* de la carte, où elle forme une traînée de lumière; au même instant la carte est percée en *t*, et l'on apperçoit un point lumineux à l'extrémité *n* du conducteur *cnd*. Cette expérience s'accorde très-bien avec la supposition d'un seul fluide qui, après s'être accumulé sur la surface intérieure de la batterie, l'abandonne au moment de l'explosion, et se précipitant sur le conducteur *cnd*, va remplacer le fluide dont la surface extérieure s'était dépouillée.

597. On a cité encore en faveur de la même opinion, la diversité des aspects sous lesquels se présente la lumière que l'on apperçoit à l'extrémité d'un corps aigu situé en présence d'un conducteur électrisé. Lorsque l'aigrette avait lieu, le fluide électrique sortait du corps aigu pour se rendre au conducteur qui était dans l'état négatif; et lorsqu'au contraire on ne voyait qu'un point lumineux, le fluide s'échappait du conducteur électrisé positivement, pour se porter vers la pointe qui, étant dans l'état opposé, attirait à elle ce fluide. Tremery, professeur de Physique, d'un mérite distingué, a imaginé, pour résoudre ces difficultés, une hypothèse très-admissible, qu'il a confirmée par des expériences ingénieuses (1). Suivant cette hypothèse, la force coercitive des corps idio-électriques,

(1) Journal de Physique, Floréal an x, p. 357 et suiv.

c'est-à-dire, la résistance qu'ils opposent au mouvement du fluide électrique dans leur intérieur (552), ne serait pas la même pour les deux fluides vitré et résineux, ensorte qu'il pourrait bien se faire que, dans certains corps, elle fût incomparablement plus grande, relativement à l'un des fluides, que par rapport à l'autre. L'air atmosphérique serait dans ce dernier cas, et opposerait une très-grande résistance au mouvement du fluide résineux, tandis qu'il ne résisterait pas, à beaucoup près, avec la même force, au mouvement du fluide vitré.

D'après cette hypothèse, lorsqu'on emploîrait l'appareil que nous avons décrit, il arriverait qu'au moment de la décharge le fluide vitré sortirait du conducteur *amb*, pour aller se réunir au fluide résineux qui serait maintenu autour du conducteur *cnd*, par la force coercitive de l'air ; et son passage à travers la carte aurait lieu au point *t*, situé immédiatement au-dessous du point *n*, ce que nous avons vu être conforme à l'expérience.

Maintenant si, par l'effet d'une cause quelconque, comme serait celle qui apporterait un changement dans la densité de l'air, la force coercitive de cet air pour le fluide résineux pouvait diminuer relativement à celle qui aurait lieu pour le fluide vitré, de manière que les deux forces parvinssent à l'égalité, les deux fluides, au moment de la décharge, se porteraient l'un vers l'autre, ensorte que l'on appercevrait une aigrette lumineuse à la pointe de chaque conducteur.

On peut faire d'autres suppositions, d'après lesquelles la force coercitive pour le fluide vitré l'emporterait à son tour sur celle qui aurait lieu à l'égard du fluide résineux ; et si la première devenait incomparablement plus grande que l'autre, on aurait le phénomène inverse de celui qu'on observe dans le cas ordinaire.

598. Pour vérifier cette théorie, Tremery a placé l'appareil représenté (*fig.* 5) sous le récipient d'une machine pneumatique, et il a fait le vide jusqu'au point où la pression de l'air, indiquée par un baromètre d'épreuve, n'était plus que

de 14 centimètres, environ 5 pouces 2 lignes. L'appareil ayant été ensuite électrisé, l'explosion s'est faite de manière que la carte a été percée au point *s*, situé à-peu-près au milieu de la distance entre les extrémités *m*, *n*, des deux conducteurs. Ce phénomène très-remarquable indiquait que, par une suite de la diminution qu'avait subie la densité de l'air, le rapport entre ses forces coercitives, à l'égard des deux flnides, avait varié de manière qu'elles étaient devenues sensiblement égales.

Le même physicien a laissé ensuite, à différentes reprises, rentrer de l'air sous le récipient, et il a observé que chaque degré de densité déterminait, pour l'endroit où la carte était percée, une position particulière située entre le milieu *s* de la carte, et l'extrémité *n* du conducteur électrisé résineusement.

599. On voit maintenant à qnoi tient la différence entre les deux aspects sous lesquels s'offre la lumière qu'on apperçoit à l'extrémité d'un corps aigu, suivant la diversité des circonstances. Si le corps aigu est situé vis-à-vis d'un conducteur chargé de fluide résineux, le fluide vitré du premier s'élancera sons la forme de rayons divergens, pour se porter vers le conducteur où le flnide résineux, qui exerce sur lui son attraction, est maintenu par la force coercitive de l'air. Si, au contraire, le conducteur est électrisé vitreusement, son fluide sera attiré par le corps aigu, et la réunion de ce fluide avec le fluide résineux, qui n'aura lieu qu'à l'extrémité du même corps, produira le point lumineux qu'on apperçoit en cet endroit.

Description de quelques Instrumens Electriques particuliers.

Les physiciens ont inventé plusieurs espèces d'instrumens propres à diverses expériences qui ont chacune un but particulier. Quatre de ces instrumens nous paraissent surtout mériter une explication.

Electrophore.

600. On a donné le nom d'*électrophore* à un appareil qui a la faculté de conserver long-temps sa vertu électrique. Il est composé d'un plateau *st* (*fig.* 58) de matière résineuse, sur lequel on place un disque de métal *ag*, attaché par le milieu à un cylindre de verre *mn*. Ce disque étant d'abord séparé de la résine, on électrise celle-ci en la frappant avec une peau de lièvre ou de quelque autre animal à poil ; ensuite on applique le disque métallique sur la résine, et l'on pose un doigt sur le même disque pendant un petit instant. Cela fait, on retire d'abord le doigt, puis on enlève le disque au moyen du cylindre de verre *mn*, destiné à le maintenir isolé. Si l'on présente alors le doigt ou un excitateur au disque, on voit paraître une étincelle entre l'un et l'autre. En replaçant le disque sur la résine, sans être obligé d'électriser de nouveau celle-ci, et en répétant du reste le même procédé, on obtiendra de nouvelles étincelles dont la force ne paraîtra pas diminuer sensiblement ; et si on se sert du crochet d'une bouteille de Leyde pour les produire, on parviendra, en peu de temps, à la charger.

601. Pour expliquer ces effets, remarquons qu'au moment où l'on place le disque métallique sur le plateau *st* que l'on a électrisé, le fluide résineux de ce plateau attire à lui le fluide vitré du disque métallique, lequel ne pouvant passer dans la résine dont la nature est idio-électrique, reste sur la surface inférieure du disque. Le fluide résineux de celui-ci se trouve repoussé en même temps vers la surface supérieure. Or, le disque n'ayant ici que sa quantité naturelle de fluide électrique, qui seulement est décomposée, son fluide résineux agit, par cela seul, plus fortement sur le doigt en contact avec ce même disque, que le fluide vitré qui est à une plus grande distance (561). Mais cette action est encore aidée par celle du fluide de même nom qui appartient à la résine, et ainsi le fluide vitré, qui fait partie du fluide naturel ren-

fermé dans le doigt, sera attiré par le disque métallique, et s'unira avec le fluide résineux répandu sur la surface supérieure. Donc si, après avoir retiré le doigt, on enlève le disque métallique, celui-ci se trouvera à l'état d'électricite vitrée ; après quoi il est facile de concevoir tout le reste.

Ordinairement le plateau de matière résineuse a pour support un autre disque métallique, sur lequel on a fait couler cette matière au moment où elle était en fusion. Le fluide qui occupe la surface supérieure du plateau, agit aussi à travers l'épaisseur de celui-ci, sur le disque qui adhère à sa surface inférieure. Mais nous nous dispensons ici d'avoir égard à cette action, qui d'ailleurs est faible, pour ne considérer que la première, qui seule est dirigée vers l'effet que l'on se propose d'obtenir.

602. On peut employer le plateau de l'électrophore pour produire un de ces phénomènes, dont la première vue excite une surprise suivie du desir d'en connaître les causes. Ayant chargé résineusement une bouteille de Leyde (591), on la prend par la garniture extérieure, et après avoir mis la boule qui termine le crochet, en contact avec un point situé vers le milieu du plateau de résine, on promène cette boule, comme pour tracer au même endroit une lettre ou quelqu'autre figure. On décharge la bouteille, au moyen d'un excitateur (590), et on l'électrise vitreusement, puis on reporte la boule terminale sur le plateau de résine, en la faisant serpenter vers les bords, comme pour donner un cadre à la figure du milieu.

Cela fait, on prend une espèce de petit soufflet d'une forme cylindrique, et tellement construit que quand on le fait jouer, les deux panneaux qui lui servent de bases se rapprochent et s'écartent alternativement l'un de l'autre. On introduit dans ce soufflet, par un trou pratiqué à la base supérieure, un mélange de deux poussières fines, l'une de soufre, l'autre de *minium* ou d'oxide de plomb rouge, puis on referme le trou. La base inférieure est aussi percée d'un trou que l'on laisse ouvert. On met ensuite le soufflet en mouvement, de manière à faire voler un nuage léger de poussière au-dessus de la surface du plateau qui en est bientôt parsemée. On voit paraître

alors au milieu de cette surface un caractère rougeâtre, composé des parcelles de minium, qui se sont arrangées aux endroits que le crochet de la bouteille a parcourus, lorsqu'il était à l'état résineux ; et la partie environnante offre une bordure jaunâtre, formée par les parcelles de soufre, qui ont pris leurs places aux endroits par lesquels a passé le même crochet électrisé vitreusement.

603. Pour expliquer ces effets, reprenons les différentes circonstances de l'expérience. Le crochet de la bouteille, chargé d'abord résineusement, communique une électricité de la même nature, à tous les points du plateau de résine successivement en contact avec lui, et le même crochet sollicité par l'électricité contraire, la partage avec les points qu'il parcourt. Lorsqu'ensuite on fait agir le soufflet, les deux poussières en s'agitant s'électrisent par leur frottement mutuel, de manière que le soufre acquiert l'électricité résineuse, et le minium l'électricité vitrée. Il en résulte que le soufre se porte vers les points du plateau qui sont à l'état vitré, tandis que le minium obéit à l'attraction de ceux qui sont à l'état résineux (557). Le plateau fait ainsi le triage des parcelles qui doivent donner du corps aux figures tracées invisiblement par les deux fluides électriques.

Si l'on observe chacune de ces figures avec attention, on voit que les parcelles de soufre appliquées sur la partie du plateau, qui est à l'état vitré, sont disposées sous la forme de petites houppes, tandis que les parcelles de minium fixées sur la partie qui est à l'état résineux ne donnent aucnn signe de divergence. Ces deux aspects sont en rapport avec ceux que présentent les corps aigus, qui lancent des rayons épanouis en aigrettes, lorsque lenr électricité est vitrée, et n'offrent que des points de lumière, lorsqu'ils sont à l'état résineux (573). La manière de faire l'expérience dans l'ordre que nous avons indiqué, a été raisonnée d'après la diversité dont il s'agit. Car alors les aigrettes naissent sur le cadre où elles font ornement, au lieu qu'elles porteraient la confusion dans la figure du milieu, qui doit être lisible.

Condensateur.

604. L'invention d'un second instrument, que l'on nomme *condensateur*, est due au célèbre Volta. Son usage est de rendre sensibles de très-petites quantités d'électricité fournies par des corps environnans, en les déterminant à s'accumuler sur la surface qu'il présente à leur action. Cet instrument ne diffère de l'électrophore, qu'en ce que le plateau de résine s'y trouve remplacé par un corps du genre de ceux qui n'isolent qu'imparfaitement, et qui tiennent comme le milieu entre les corps conducteurs et les corps idio-électriques : tel est, par exemple, le marbre blanc. Concevons que le disque étant placé sur un plateau de cette substance, reçoive, par communication, un faible degré d'électricité, que nous supposerons être résineuse. Le fluide de cette électricité décomposera un peu le fluide naturel du marbre blanc, en repoussant vers le bas le fluide résineux, et en attirant vers le haut le fluide vitré. Le marbre, à son tour, agira sur le disque, en vertu de son électricité vitrée, dont la force s'exerce de plus près, pour y maintenir la petite portion d'électricité résineuse communiquée. Une seconde quantité de fluide arrivant à son tour dans le disque métallique, décomposera une nouvelle portion du fluide naturel renfermé dans le marbre, qui acquerra de son côté un nouveau degré de force attractive, et ainsi de suite. Voici donc ce que fait le marbre : il laisse un certain jeu au fluide qu'il contient, pour s'y mouvoir, parcequ'il est demi-conducteur ; mais comme il est aussi en partie idio-électrique, le fluide résineux du disque, qu'il attire à lui, se trouve arrêté par la résistance qu'il éprouve à l'endroit du contact, qui se fait d'ailleurs par des surfaces planes, dont la figure se prête moins à l'effet de l'attraction, que celle des surfaces curvilignes. Les petites quantités d'électricité que reçoit successivement le disque, continueront donc de s'y accumuler au point que si, après l'avoir enlevé, on lui présente le doigt, on pourra en tirer une étincelle plus ou moins vive.

Electromètre de Cavallo.

605. L'instrument, ainsi appelé, consiste en deux balles de moëlle de sureau, d'un très-petit diamètre, suspendues par le moyen de deux cheveux à une boule de cuivre qui repose sur l'orifice d'une espèce de flacon de verre. On présente un bâton de cire d'Espagne, électrisé par le frottement, à une petite distance de la boule, tandis qu'on tient un doigt posé sur cette boule. On retire ensuite, d'abord le doigt, puis la cire ; et il est facile de concevoir, par un raisonnement semblable à celui que nous avons fait pour l'électrophore (601), que tout l'appareil étant alors chargé d'électricité vitrée, les deux balles doivent se repousser et se tenir écartées l'une de l'autre. Chaque fois que l'on présente de nouveau la cire à une certaine distance du point de suspension, les balles se rapprochent, parceque la cire ramène dans la boule de cuivre une partie de l'électricité des balles. Si l'on diminue la distance, il pourra arriver que les balles, en perdant tout leur fluide additionnel, rentrent dans l'état naturel, et parviennent à se toucher ; alors si vous approchez encore davantage le bâton de cire, la force de son électricité résineuse, en déterminant une plus grande qnantité de fluide vitré à se porter vers le point de suspension, décomposera le fluide naturel des balles, qui passeront ainsi à l'état d'électricité résineuse, et se repousseront de nouveau : ensorte qu'aux yeux de ceux à qui cette observation s'offrirait, sans être éclairée par la théorie, elle se trouverait en contradiction avec la première, où la cire, en s'approchant du point de suspension, sollicitait les balles à se mouvoir l'une vers l'autre.

606. Cet électromètre fournit un moyen facile de déterminer l'espèce d'électricité d'un corps quelconque. Par exemple, dans le cas que nous venons de citer, tout corps qui aura l'électricité vitrée, si on l'approche de la boule qui termine l'appareil, augmentera l'écartement entre les deux petites balles de moëlle de sureau ; si, au contraire, le corps est chargé

d'électricité résineuse, le premier mouvement des balles sera de tendre l'une vers l'autre.

Si l'on attache sur la boule de métal une aiguille terminée par une pointe déliée, et qu'on expose l'appareil sur une fenêtre, dans un temps d'orage, on verra souvent les balles s'écarter spontanément l'une de l'autre; et en les électrisant, par le procédé que nous venons d'indiquer, on pourra connaître l'espèce d'électricité dont l'air est animé.

Electromètre-Condensateur.

607. Si l'on suppose que les effets du condensateur soient combinés avec ceux de l'électromètre de Cavallo, on aura une idée du quatrième instrument, auquel Volta a donné une destination bien remarquable, en l'employant à déterminer les effets de l'électricité galvanique, dont nous parlerons dans la suite. La partie de cet instrument, qui fait l'office d'électromètre, est composée de deux brins de paille *or*, *us* (*fig.* 59), qui doivent être égaux et très-droits. On les suspend au moyen de deux fils déliés de métal terminés en crochet, et qui jouent librement dans deux petites ouvertures pratiquées à l'extrémité inférieure d'une petite pièce de métal, dont l'extrémité opposée est soudée en dessous de l'obturateur d'un flacon *fhk*. Au-dessus du même obturateur est vissé un plateau ou disque de cuivre *cd*, garni inférieurement d'un fil métallique terminé par un globule *g*. On a donné à ce disque le nom de *plateau collecteur*, parceque son usage est de recueillir les petites quantités de fluide électrique que l'on veut rendre sensibles par leur accumulation. Ce plateau en porte un autre *ab*, auquel est attaché un cylindre de verre *mn*, et qui communique avec les corps environnans, au moyen d'une lame métallique *ily* courbée de manière qu'elle n'approche pas trop du plateau collecteur. Chaque plateau est verni sur la surface par laquelle il est en contact avec l'autre. Le flacon porte à l'extérieur une graduation *tz*, d'après laquelle on juge à-peu-près de l'écartement des deux pailles, suivant des lignes telles que *o'p*, *u'x*,

mais qui n'est pas propre à donner la mesure de la force électrique d'où résulte cet écartement ; car indépendamment du peu de précision d'une pareille mesure considérée en elle-même, elle n'est pas en rapport avec la force, qui suit la raison inverse du carré de la distance, et dont l'action est altérée, dans le cas présent, par l'effet de la pesanteur qui sollicite les pailles en sens contraire de l'écartement produit par l'électricité.

A mesure que le plateau collecteur reçoit successivement, à l'endroit du globule *g*, de petites quantités de fluide électrique, par les contacts répétés de la substance qui fournit ce fluide, que nous supposerons être celui de l'électricité vitrée, il se fait une décomposition du fluide naturel renfermé dans le plateau supérieur *ab* ; de manière que le fluide résineux attiré vers le plateau collecteur, se trouve arrêté par les couches de vernis interposées entre les deux disques, tandis que le fluide vitré s'échappe par la lame métallique *ily*. Après un certain nombre de contacts, on enlève le plateau supérieur *ab* ; à l'instant les pailles s'écartent ; et pour savoir de quelle espèce est l'électricité dont elles sont animées, et en même temps celle qui a été fournie au plateau collecteur, on emploie le moyen que nous avons indiqué, en parlant de l'électromètre de Cavallo (606).

Dans l'instrument que nous venons de décrire, le plateau collecteur représente le disque métallique du condensateur ordinaire, et le plateau supérieur produit le même effet que le plateau de marbre ; avec cette différence, que les fluides s'y meuvent librement, et que l'obstacle qui empêche l'un d'eux de passer dans le plateau collecteur, est une substance idio-électrique intermédiaire.

2. De l'Electricité naturelle.

608. L'identité du fluide électrique avec la matière du tonnerre avait déjà été soupçonnée par differens physiciens, lorsque Francklin, après avoir reconnu le pouvoir des pointes, dont

nous avons parlé précédemment (568), proposa d'élever en l'air une verge de fer terminée en pointe aiguë, et de s'en servir pour vérifier cette même analogie. Dalibard fut un des premiers qui mit l'idée de Francklin en exécution. Il fit construire auprès de Marly-la-Ville une cabane, au-dessus de laquelle était fixée une barre de fer de 13 mètres, ou 40 pieds de longueur, isolée par le bas. Un nuage orageux ayant passé dans le voisinage de cette barre, elle donna des étincelles à l'approche du doigt, et l'on reconnut les effets des conducteurs ordinaires que nous électrisons à l'aide de nos machines.

609. Romas, qui cultivait à Lille la Physique, poussa depuis la hardiesse au point d'envoyer vers le nuage même un cerf-volant armé d'une barre qui se terminait en pointe. La corde du cerf-volant était entrelacée avec un fil de métal, jusqu'à une certaine distance de son point d'attache, et le reste était un cordon de soie destiné à tenir l'appareil isolé et à préserver l'observateur de l'explosion. On vit sortir de cet appareil des jets spontanés de lumière de 32 décimètres, ou dix pieds de longueur, et dont le bruit était semblable à un coup de pistolet. Les dangers de toutes les expériences de ce genre sont si évidens, même en supposant des précautions, qu'elles ne peuvent être tentées que par ceux chez qui la curiosité est plus forte que la crainte. Plusieurs physiciens, renversés par les commotions qu'ils reçurent en tirant des étincelles d'un appareil qui communiquait avec l'intérieur de leur appartement, ont eu à se repentir de s'être donné un hôte si redoutable. Le célèbre Richman, professeur de Physique à Pétersbourg, y perdit la vie dans une circonstance qui semblait faite pour rendre la leçon plus frappante. Il fut renversé à côté de l'appareil même qu'il avait disposé pour mesurer la force de l'électricité des nuages.

Des Paratonnerres.

610. Francklin, en imaginant de soutirer la matière de la foudre, s'était proposé un but plus philosophique que celui de faire

faire des expériences électriques. Il pensait que si l'on dressait sur un bâtiment une verge de fer terminée en pointe aiguë, et que l'on établît une communication entre cette verge et le sein de la terre, elle pourrait préserver le bâtiment d'une explosion, en épuisant le fluide des nuages orageux qui passeraient dans le voisinage. D'après cette idée, on a construit dans plusieurs endroits des instrumens de cette espèce, auxquels on a donné le nom de *paratonnerres*.

611. Beyer, artiste avantageusement connu par ses talens en plus d'un genre, et qui s'occupe spécialement de la construction des paratonnerres, a imaginé de terminer la verge de cet instrument par une pointe de platine, comme étant un métal à la fois très-réfractaire et exempt d'oxydation. Il emploie, pour conducteurs, des espèces de cordes formées de fils de fer tressés, et enduites d'une couche de vernis gras. La corde se prolonge jusqu'au bord d'un puits, où elle est attachée à une tige de fer dont l'extrémité inférieure est plongée dans l'eau. L'emploi de cette matière conductrice a l'avantage d'exiger beaucoup moins de temps pour la communication à établir entre la verge et le réservoir commun, et de diminuer relativement à l'édifice lui-même, les dommages et les réparations inséparables d'une opération de cette nature.

612. Parmi les physiciens, les uns ont regardé les avantages des paratonnerres comme incontestables. D'autres ont pensé que leur action devait être trop faible pour protéger l'édifice qui les portait; c'était vouloir détourner, au moyen d'un simple tube, un grand fleuve prêt à se déborder. Quelques-uns même ont prétendu que les paratonnerres étaient plus propres à provoquer la chute de la foudre sur le bâtiment, qu'à la prévenir. Mais on ne peut douter de l'utilité de ces instrumens, surtout depuis que l'expérience a appris qu'une explosion, qui d'ailleurs paraissait inévitable, s'était faite sur la pointe même du paratonnerre, sans que l'édifice en eût été endommagé. On a présenté, il y a un certain nombre d'années, à l'Académie des Sciences, une verge de paratonnerre sur laquelle la foudre était tombée, et dont la pointe était émoussée et semblait avoir été

fondue. Le fluide électrique avait suivi la communication établie entre la verge de fer et le sein de la terre, et la maison était restée intacte. Mais lorsqu'on veut élever des paratonnerres sur des édifices d'une certaine étendue, il est nécessaire de les multiplier. Ils ne doivent pas être trop rapprochés, sans quoi ils se nuiraient entre eux, comme nous avons vu (571) que plusienrs pointes situées à de petites distances respectives, vis-à-vis un conducteur électrisé, s'empêchaient mutuellement de soutirer le fluide électrique. D'une autre part, ils doivent être assez voisins, pour que lenrs différentes sphères d'activité ne laissent aucun espace intermédiaire; et l'on a jugé que le rayon d'une pareille sphère devait être de 10 mètres, ou environ 30 pieds, et qu'ainsi il suffirait de mettre une distance de 20 mètres, ou 60 pieds, entre un paratonnerre et l'autre.

On voit, par ce que nous venons de dire, que l'effet du paratonnerre ne se borne pas à soutirer en silence le fluide électrique, quoique ses services ne soient pas même à dédaigner dans ce cas. Mais son moment décisif est celui où tout annonçant une explosion prochaine, il se présente pour la recevoir, et détermine le fluide à prendre la route tracée d'avance, par le physicien, à côté de l'édifice, qui en est quitte pour l'ébranlement causé par le bruit.

Du Choc en retour.

613. Parmi les différentes manières dont l'explosion de la foudre peut devenir funeste à ceux qui se trouvent sur un terrain dominé par un orage, il en est une qui parait d'abord inexplicable. Elle consiste en ce qu'il est possible qu'un homme ou un animal, situé fort loin de l'endroit où la foudre éclate, soit néanmoins exposé à etre dangereusement blessé, ou à perdre la vie, par une suite de l'explosion; et l'on a même cité des exemples de cette action, pour ainsi dire, cachée de la foudre. Milord Mahon, savant physicien anglais, qui, dans son *Traité d'Electricité*, s'est beaucoup occupé de cet effet singu-

lier, en trouve l'explication dans un rétablissement d'équilibre, auquel il a donné le nom de *choc en retour* (1); et que nous allons faire connaître, en ramenant à la théorie des deux fluides le point de vue sous lequel nous le considérerons.

Soit *ab* (*fig.* 60) le conducteur d'une machine ordinaire, dont on fasse tourner le plateau; supposons que derrière ce conducteur on en place un second *cd*, isolé et dans l'état naturel, à une telle distance qu'il ne puisse tirer aucune étincelle du premier; supposons enfin un troisième conducteur *ef*, non isolé, situé assez près du second pour que celui-ci étant électrisé, l'autre en tire des étincelles. Des deux fluides qui composent le fluide naturel de *cd*, celui de l'électricité résineuse restera dans ce corps, en vertu de l'attraction que le fluide vitré de *ab* exerce sur lui; l'autre, savoir le fluide de l'électricité vitrée, sera repoussé dans le corps *ef*, qui le transmettra aux corps environnans, ensorte que le conducteur *cd* se trouvera électrisé résineusement. Si, dans ce moment, on décharge le condncteur *ab*, le suivant *cd* reprendra rapidement son fluide vitré qui lui sera restitué par l'intermède du conducteur *ef*; et si l'on suppose, au lieu du conducteur *cd*, une personne isolée qui présente les mains à la distance convenable des conducteurs *ab*, *ef*, la décharge fera naitre entre *ef* et le doigt situé du même côté, une étincelle très-piquante, produite par la rentrée subite du fluide vitré qui était sorti du corps de la personne. Parmi les différentes manières d'éprouver le choc en retour, indiquées par milord Mahon, nous avons choisi celle-ci, parcequ'elle offre le cas où l'effet est le plus sensible.

Maintenant on conçoit que si l'électricité du conducteur *ab* était extrêmement forte, le choc en retour aurait encore lieu, dans la supposition même où il n'y aurait en présence de ce conducteur que le seul corps *cd* qui ne fut pas isolé; et tel est le cas qui arrive dans la nature, lorsque le choc provient d'un nuage orageux.

614. Soit NG (*fig.* 61) un de ces nuages, fortement

(1) Principes d'Electricité, Londres, 1781, p. 69 et suiv.

chargé d'électricité vitrée, et D un voyageur situé dans la sphère d'activité du même nuage. Le fluide vitré de cet homme sera refoulé dans la terre par la répulsion du fluide que renferme le nuage, ensorte que le voyageur se trouvera très-sensiblement à l'état d'électricité résineuse. Que dans ce moment la présence d'un objet terrestre C détermine le nuage à faire explosion, le fluide vitré repassera dans le corps du voyageur avec une rapidité et une abondance proportionnées à l'énergie avec laquelle agissait l'électricité du nuage, et la secousse qui en résultera pourra être assez forte pour tuer le voyageur. Il sera possible que, dans le même temps, des hommes ou des animaux situés à des endroits *f*, *b*, qui auraient paru plus exposés au danger de l'explosion, n'en reçoivent aucune atteinte.

3. De l'Electricité produite par la Chaleur.

615. Indépendamment de tous les phénomènes que nous avons considérés jusqu'ici, et qui appartiennent tout entiers à la Physique, il en est plusieurs dont elle partage l'observation avec l'histoire naturelle. Nous nous abstiendrons de parler, pour l'instant, de l'électricité produite par la torpille et par quelques autres poissons qui renferment un organe particulier, dans lequel ils ont la faculté d'exciter des mouvemens, d'où résulte un phénomène semblable à celui de la bouteille de Leyde. Ce sujet sera mieux placé dans l'article où nous traiterons de l'influence de ce qu'on a appelé *galvanisme* sur l'économie animale. Il ne s'agit ici que de la vertu électrique qu'acquièrent certains minéraux, à l'aide de la chaleur, qui produit, dans ce cas, le même effet que le frottement sur les corps idio-électriques ordinaires. Ce point de minéralogie physique est d'autant plus intéressant, que la distribution de la matière électrique, dans les minéraux dont nous avons parlé, a la plus grande analogie avec celle de la matière magnetique dans le fer à l'état d'aimant, ensorte que ces minéraux offrent le

véritable terme de comparaison entre l'électricité et le magnétisme.

616. Chacun des mêmes minéraux a toujours au moins deux points, dont l'un est le siége de l'électricité vitrée, et l'autre celui de l'électricité résineuse. Nous donnons le nom de *pôles électriques* à ces points, qui sont toujours situés dans deux parties opposées du minéral. Pour distinguer ces pôles l'un de l'autre, on peut se servir d'un petit appareil fort simple, dont nous allons faire la description. Il consiste dans une aiguille *mn* (*fig.* 62) d'argent ou de cuivre, terminée par deux globules, et mobile sur un pivot qui forme la partie supérieure d'une tige *ca* de même métal. On isole cette tige avec l'aiguille, en la plaçant sur un support cylindrique *s* de résine. On pose un doigt de la main gauche sur la rondelle *a* qui termine la tige inférieurement, et tenant de la main droite un bâton *g* de gomme-laque ou de cire d'Espagne, que l'on a frotté, on le présente, pendant une ou deux secondes, à une petite distance de la tige *ac*; on retire ensuite, d'abord le doigt, puis le bâton *g*. L'aiguille alors se trouve électrisée vitreusement; ensorte que, suivant qu'on approche d'un des globules *m*, *n*, le pôle résineux ou le pôle vitré d'un minéral électrisé par la chaleur, le globule est attiré ou repoussé. On concevra la raison du procédé employé pour électriser l'aiguille, en appliquant ici ce que nous avons dit de la manière dont on produit le même effet, par rapport à l'électromètre de Cavallo (605). L'électricité de l'aiguille se conserve pendant un quart d'heure ou davantage, et on peut, en la faisant naître, la rendre très-sensible ou très-faible, suivant que l'exige l'expérience qu'on se propose de faire, en variant la distance entre la tige *ac* et le bâton de gomme-laque.

Explication des Effets de la Tourmaline.

617. Prenons d'abord pour exemple la pierre appelée *tourmaline*, qui est la première dans laquelle on ait reconnu la

propriété de devenir électrique par la chaleur, et qui cristallise en prismes ordinairement à neuf pans, terminés par des sommets à trois, six, neuf faces ou davantage. Lorsque cette pierre est à la température ordinaire, elle n'est susceptible d'etre électrisée que par frottement, et dans ce cas, la partie frottée acquiert toujours l'électricité vitrée, comme cela a lieu pour tous les corps d'une nature vitreuse. Mais si on expose une tourmaline pendant quelques instans à l'action du feu, en la tenant avec une pince par le milieu du prisme; et si on présente ensuite, tour à tour ses deux extrémités au globule *m* ou *n*, on observera que l'une attire, et que l'autre repousse ce globule, ce qui fera reconnaître les pôles dans lesquels résident les deux électricités. On conçoit que la tourmaline n'ayant que sa quantité naturelle de fluide, qui est seulement décomposée, si son pôle vitré est tourné vers le globule, elle se trouve dans le même cas que si elle était sollicitée uniquement par une quantité de fluide vitré, dont la force fut égale à la différence entre les forces de ses deux pôles, en conséquence de ce que l'un agit de plus près, et l'autre de plus loin. Donc le globule sera repoussé. Un raisonnement semblable prouvera qu'il doit au contraire y avoir attraction, si la tourmaline regarde le globule par son pôle résineux.

Mais si l'aiguille *mn* n'était pas isolée, il est facile de concevoir que la présence de l'un quelconque des pôles de la tourmaline, ferait naître dans le globule voisin de ce pôle, une électricité contraire à la sienne; d'où il suit que le globule, dans ce cas, serait constamment attiré.

Attractions et Répulsions que le même côté de la Pierre exerce sur des Corps légers.

618. Si l'on présente un des pôles de la tourmaline à des corps légers, tels que des grains de cendre ou de rapure de bois, chaque grain, devenant de même un petit corps élec-

trique, dont la partie tournée vers le pôle qui agit sur lui a acquis une électricité contraire à celle de ce pôle, se portera vers la tourmaline. Parvenu au contact, il y restera appliqué, parceque le fluide de la tourmaline, qui est un corps non conducteur, ne pouvant se communiquer à lui, tout reste dans le même état qu'auparavant. Cependant il arrive assez souvent que quelques-uns de ces grains, aussitôt qu'ils ont touché la pierre, sont repoussés. Cet effet a lieu, lorsque le petit corps a rencontré quelque molécule conductrice ferrugineuse ou autre, située à la surface de la tourmaline. Dans ce cas, si l'on suppose, par exemple, que cette molécule eût l'électricité résineuse, une portion de son fluide passera sur la partie contiguë du petit corps, qui est occupée par du fluide vitré, et s'unira avec ce fluide en le neutralisant. Alors le fluide résineux qui enveloppait l'autre partie du petit corps se trouvant en excès, ce corps sera tout entier à l'état résineux; d'où il suit que la molécule conductrice qui est dans un état semblable, le repoussera. On voit par là de quelle manière on doit entendre ce qu'ont dit quelques auteurs, que la tourmaline attirait et repoussait indifféremment par les deux bouts, sans produire ces effets constans d'attraction d'un côté, et de répulsion de l'autre, qu'on lui avait attribués. Ces derniers effets n'ont lieu qu'avec une tourmaline placée vis-à-vis d'un corps qui est déjà lui-même dans un certain état d'électricité. Les autres, qui sont variables, ont rapport au cas où les corps sur lesquels agit la tourmaline, étaient primitivement dans leur état naturel.

Distribution des deux Fluides Electriques dans la Tourmaline.

619. Dans une tourmaline, les densités électriques décroissent rapidement, en partant des extrémités, ensorte qu'elles sont nulles ou presque nulles dans un espace sensible, situé vers le milieu du prisme. Par une suite nécessaire, les centres

d'action sont situés près des extrémités. Cette distribution est analogue à celle du fluide électrique répandu autour d'un cylindre, ainsi que nous l'avons exposé plus haut (551). On peut la rendre sensible à l'œil jusqu'à un certain point, en faisant aller et revenir une tourmaline vis-à-vis d'un des globules de la petite aiguille. On observera que ce globule a une tendance marquée vers un point de la pierre voisin de l'extrémité ; mais lorsqu'il répondra à la partie moyenne, ensorte que le centre d'action, par son éloignement, n'ait plus de prise sur lui, on ne verra faire à ce globule aucun mouvement.

620. Soit T (*fig.* 63) une tourmaline qui ait son centre d'action résineuse placé en A, et son centre d'action vitrée placé en *a*. On prend un bâton de cire d'Espagne au bout duquel on a fixé un fil de soie d'environ un centimètre, ou quatre lignes et demie, de longueur, en faisant fondre la cire, à l'endroit de ce même bout, et en insérant une extrémité du fil dans la partie fondue. Si après avoir frotté le bâton de cire, auquel cas l'extrémité libre du fil acquerra l'électricité résineuse, on met cette même extrémité en présence du point R de la tourmaline, et qu'en même temps on fasse faire à celle-ci de petits mouvemens alternatifs de droite à gauche, et réciproquement, on verra le fil de soie se détourner en sens contraire, pour éviter le point R ; et si l'on approche un peu plus la tourmaline, le fil se portera tout-à-coup, par un mouvement curviligne, vers le point A. Si l'on présente ensuite au fil les points situés un peu au-delà de A, et tous les suivans jusqu'à l'extrémité opposée U, il y aura partout attraction ; mais si l'on emploie un fil qui ait l'électricité vitrée, comme celui qui serait attaché à un tube de verre que l'on aurait frotté, et qu'on l'approche de l'extrémité U, il évitera de même d'aller toucher cette extrémité, et se portera vers le point *a* ; et tous les points situés au-delà de *a* jusqu'à l'extrémité R, agiront sur lui par attraction ; ensorte que l'on n'aura point précisément l'inverse des effets précédens, puisque, dans les deux cas, le fil est attiré par la partie moyenne de la tourmaline. Cette espece de paradoxe s'éclaircira, si l'on fait attention que

la partie moyenne étant dans l'état naturel, au moment où elle est présentée au fil, attire indifféremment ce fil, quelle que soit l'espèce d'électricité qui le sollicite; de manière que, dans les deux cas, l'effet de cette attraction s'ajoute à celui du centre d'action qui agit sur le fil par une électricité contraire à la sienne.

Actions de deux Tourmalines l'une sur l'autre.

621. Deux tourmalines, présentées l'une à l'autre, s'attirent par les pôles animés d'électricités contraires, et se repoussent par les pôles qui manifestent la même espèce d'électricité. Nous avons déjà démontré ces résultats en parlant des actions réciproques de deux corps idio-électriques, dont le fluide naturel aurait subi une décomposition (565). Pour vérifier encore ici la théorie par l'expérience, on fera chauffer deux tourmalines, et après avoir placé l'une d'elles en travers sur une lame de liége flottante à la surface de l'eau, on choisira l'un de ses pôles, auquel on présentera successivement les deux pôles de l'autre tourmaline. Lorsque les pôles en regard différeront par leurs électricités, on verra la tourmaline flottante se porter vers l'autre, et en suivre tous les mouvemens. Si au contraire les pôles les plus voisins sont sollicités par des électricités opposées, la tourmaline flottante se retournera, pour se présenter à l'autre par le pôle contraire; et s'en approcher ensuite en vertu de l'attraction. Quelqu'un qui assisterait à ces expériences, sans avoir été prévenu, serait tenté de les prendre pour des expériences de magnétisme.

Rapport entre l'Electricité de la Pierre et sa Température.

622. La tourmaline commence à devenir électrique, lorsqu'elle est parvenue à une certaine élévation de température, qu'Æpinus place entre le 30e et le 80e degré du thermomètre

dit de Réaumur. Mais parmi les corps de cette espèce, il en existe auxquels on n'a besoin, en quelque sorte, que de montrer le feu, pour qu'ils manifestent leur électricité. Si on chauffe la tourmaline de plus en plus, il y aura un terme où elle cessera de donner des signes de vertu électrique. Il arrive souvent qu'après l'avoir retirée du feu, on est obligé de la laisser revenir d'elle-même à une température modérée, pour qu'elle ait de l'action sur les petits corps qu'on lui présente. Mais il paraît qu'au-delà du terme où son électricité est devenue insensible par l'action d'une trop grande chaleur, il y en a un autre où ses effets se reproduisent en sens inverse. Nous avons fait tomber les foyers de deux lentilles sur les extrémités d'une tourmaline, et nous avons observé que chaque pôle, après avoir acquis son électricité ordinaire, cessait ensuite d'agir, et enfin passait à l'état opposé ; ensorte que l'attraction, après être devenue zéro, faisait place à la répulsion, ou réciproquement.

Phénomène que présente une Tourmaline cassée.

623. Si l'on casse une tourmaline au moment où elle manifeste son électricité, chaque fragment, quelque petit qu'il soit, a ses deux moitiés dans deux états opposés, comme la tourmaline entière ; ce qui paraît d'abord très-singulier, puisque ce fragment, en supposant, par exemple, qu'il fût situé à l'une des extrémités de la pierre encore intacte, n'était alors sollicité que par une seule espèce d'électricité. On résout heureusement cette difficulté, à l'aide d'une hypothèse très-plausible, semblable à celle que Coulomb a faite par rapport aux corps magnétiques qui présentent la même singularité, c'est-à dire, en considérant chaque molécule intégrante d'une tourmaline, comme étant elle-même une petite tourmaline pourvue de ses deux pôles. Il en résulte que dans la tourmaline entière il y a une série de pôles alternativement vitrés et résineux ; et telles sont les quantités de fluide libre qui appartiennent à ces différens pôles, que dans toute la moitié de la tourmaline encore

intacte, qui manifeste l'électricité vitrée, les pôles vitrés des molécules intégrantes sont supérieurs en force aux pôles résineux en contact avec eux; tandis que c'est le contraire qui a lieu dans la moitié qui manifeste l'électricité résineuse; d'où il suit que la tourmaline est dans le même cas, que si chacune de ses moitiés n'était sollicitée que par des quantités de fluide vitré ou résineux, égales aux différences entre les fluides des pôles voisins. Maintenant, si l'on coupe la pierre à un endroit quelconque, comme la section ne peut avoir lieu qu'entre deux molécules, la partie détachée commencera nécessairement par un pôle d'une espèce, et se terminera par un pôle de l'espèce contraire. Nous donnerons un plus grand développement à cette explication, lorsque nous parlerons du magnétisme.

Corrélation entre la Forme des Corps Electriques par la Chaleur, et les Positions de leurs Pôles.

624. Les corps susceptibles de s'électriser par la chaleur, présentent, relativement à leurs formes, une nouvelle singularité, qui semble annoncer une dépendance mutuelle entre leur cristallisation et leur propriété électrique. On sait qu'en général la manière dont la nature élabore les cristaux est soumise à la loi de la plus grande symétrie, en ce que les parties opposées et correspondantes sont semblables par le nombre, la disposition et la figure de leurs faces. Mais les formes des cristaux électriques par la chaleur, dérogent à cette symétrie, de manière qne les parties dans lesquelles résident les deux espèces d'électricité, quoique semblablement situées aux deux extrémités du cristal, diffèrent par leur configuration; l'une subit des décroissemens qui sont nuls sur la partie opposée, ou auxquels répondent des décroissemens qui dépendent d'une autre loi, ce qui peut servir à faire deviner d'avance, d'après la seule inspection du cristal, de quel côté se trouvera chaque

espèce d'électricité, lorsqu'on soumettra ce cristal à l'expérience.

Ainsi dans la variété de tourmaline que nous nommons *isogone*, et qui est représentée (*fig.* 64), la forme est celle d'un prisme à neuf pans, terminé d'un côté par un sommet à trois faces, et de l'autre par un sommet à six faces; et l'expérience prouve que c'est le premier sommet qui est le siége de l'électricité résineuse, et le second qui manifeste l'électricité vitrée.

625. Mais de tous les cristaux qui offrent cette corrélation entre la configuration extérieure et la vertu électrique, les plus remarquables sont ceux qui appartiennent à une substance acidifère, nommée *magnésie boratée*, et dont la forme est, en général, celle d'un cube incomplet dans toutes ses arêtes, et modifié encore par des facettes qui répondent aux angles solides. Ici les deux électricités agissent suivant les directions de quatre axes, dont chacun passe par deux angles solides opposés du cube, qui est la forme primitive. Dans une des variétés (*fig.* 65) que nous nommons *défective*, l'un des deux angles solides situés aux extrémités d'un même axe, est intact; l'autre est remplacé par une facette *s*. Il y a électricité résineuse à l'angle qui n'a subi aucune altération, et électricité vitrée à la facette qui remplace l'angle opposé, ce qui fait huit pôles électriques, quatre pour chaque espèce d'électricité. Dans une autre variété (*fig.* 66), les angles solides analogues à ceux de la précédente, qui étaient remplacés par la facette *s*, continuent d'offrir la même modification. Les autres angles, situés comme ceux qui étaient intacts, sont ici remplacés chacun par une semblable facette *s'*; mais si elle existait seule, la symétrie se trouverait rétablie, et la loi du phénomène veut qu'elle soit altérée. Aussi observe-t-on trois autres facettes *r*, *r*, *r*, situées à l'entour de chacune des premières, ensorte que les angles qu'elles modifient, offrent, à cet égard, une sorte de surabondance, d'où est venu à cette variété le nom de *magnésie boratée surabondante*.

On pourrait demander si, au milieu de l'appareil imposant dè nos machines artificielles, et de cette diversité de phénomènes qu'il offre à l'œil surpris, il y a quelque chose de plus propre à exciter l'intérêt des physiciens, que ces petits instrumens électriques exécutés par la cristallisation, que cette réunion d'actions distinctes et contraires, resserrées dans un cristal qui peut n'avoir pas deux millimètres d'épaisseur; et ici revient l'observation déjà faite tant de fois, que les productions de la nature, qui semblent vouloir se cacher à nos regards, sont quelquefois celles qui ont le plus de choses à nous montrer.

FIN DU TOME PREMIER.

TABLE

DES PRINCIPAUX ARTICLES

CONTENUS DANS CE VOLUME.

Fin de la Table des principaux Articles du Tome I.

Ouvrages qui se trouvent à la même adresse.

Cours de Mathématiques à l'école centrale des Quatre-Nations, par S. F. Lacroix, membre de l'Institut national, ouvrages adoptés par le gouvernement pour les Lycées et les Ecoles secondaires, 7 vol. in-8. 28 fr. 50 c.

Chaque volume se vend séparément, savoir :

Traité élémentaire d'Arithmétique, 5e édition, 2 fr.
Elémens d'Algèbre, 5e édition, 4 fr.
Elémens de Géométrie, précédés de réflexions sur l'ordre à suivre dans ces élémens, sur la manière de les écrire et sur la méthode en mathématiques, 4e édition, 4 fr.
Traité élémentaire de Trigonométrie rectiligne et sphérique, et d'application de l'Algèbre à la Géométrie, 4 fr.
Complément des Elémens d'Algèbre, 5e édit. 4 fr.
Complément des Elémens de Géométrie, ou Elémens de Géométrie descriptive, seconde édition, 3 fr.
Traité élémentaire de Calcul différentiel et de Calcul intégral, seconde édition, 7 fr. 50 c.
Recueil de diverses propositions de Géométrie résolues ou démontrées par l'analyse, pour servir de suite au Traité élémentaire de l'application de l'Algèbre à la Géométrie de Lacroix, par Puissant, 2 f.
Essai sur l'Enseignement, par P. S. Lacroix, vol. in-8. 5 fr.
Traité élémentaire de Mécanique, par L. B. Francœur, professeur aux Ecoles centrales de Paris, et répétiteur d'analyse à l'Ecole polytechnique : ouvrage destiné pour l'enseignement dans les Lycées nationaux et à l'Ecole polytechnique ; troisième édition considérablement augmentée, in-8, 7 fr.
Il a été tiré quelques exemplaires sur format in-4, 12 fr.
Traité d'Arithmétique, à l'usage des ingénieurs du Cadastre, etc. ; par A. A. L. Reynaud, 1 vol. in 8. 5 fr.
Elémens de Géométrie, par A. M. Legendre, 6 fr.
Nouvelle théorie des parallèles, avec un appendice contenant la manière de perfectionner la Théorie des parallèles de A. M. Legendre, in-8. 2 fr.
Nouveau traité géométrique de l'arpentage, à l'usage des personnes qui se destinent à la mesure des terreins et à la levée des plans, p Lefèvre, 2 vol. in-8 avec 23 planches, 11 fr.
Traité élémentaire d'Arithmétique, à l'usage des jeunes gens, par Garnier, ex-professeur à l'Ecole polytechnique, vol. in-12, 1 f. 80 c.
Elémens d'Algèbre à l'usage des aspirans à l'Ecole polytechnique, par le même, vol. in-8. 4 fr.
Suite de ces Elémens, deuxième partie, 4 fr.
Cours complet de Bezout, à l'usage des gardes du pavillon de la marine du commerce et des élèves de l'Ecole polytechnique, 7 vol. in 8, édition revue et augmentée d'un volume par Garnier, ex-professeur d'analyse à cette école, 52 fr.

Chaque volume se vend séparément, savoir :

Arithmétique, 2 f. 50 c.
Géométrie, 4 fr.
Algèbre, 5 fr.

Ces trois volumes ont été réimprimés avec des observations essentielles. L'Arithmétique est suivie d'un traité de nouveaux poids et mesures, d'additions très-étendues et de tables de Logarithmes comme il n'y en a pas encore paru.

Les notes à l'Algèbre sont augmentées de plus du double.

Méthodes analytiques pour la détermination d'un arc du méridien, par Delambre et Legendre. Paris, an 7, in-4. 6 f.
Tables de Jupiter et de Saturne, par Delambre, in-4. 6
Voyage astronomique et géographique pour mesurer deux degrés du méridien, par les PP. Maire et Boscovich, in-4. 12 fr.
Mémoire sur l'intégration des équations différentielles, par Franchini, in-4. 1 f. 5 déc.
De la résolution des équations numériques, par Lagrange, in-4. 9 fr.
En papier vélin, 18 fr.
Théories des fonctions analytiques, par le même, in-4. 6 fr.
Essai sur la Théorie des Nombres, par A. M. Legendre, in-4. 18 fr.
Disquisitiones arithmeticæ, Ant. Defrid. Gauss. Leipsick, 1801. 15 fr.
Traité du Calcul différentiel et intégral, par Lacroix, 3 vol. in-4. 80 fr.
En grand papier, 100 fr.
Le troisième volume contenant le traité des différences et des séries, se vend séparément. 15 fr.
Réflexions sur la Métaphysique du Calcul infinitésimal, par Carnot, membre de l'Institut National, in-8. fig. 1 fr. 8 déc.
Elémens d'algèbre, par Lhuilier, 2 vol. in-8. 12 fr.
Polygonométrie, par Lhuilier, in-4. 6 f.
De la corrélation des figures de géométrie, par le même. Paris, an 9, in-8. grand papier, 5 fr.
Géométrie de position, par le même, in-4. papier vélin, 18 fr.
Idem. grand papier vélin. 36 fr.
Du calcul des dérivations, par Arbogast, in-4. 18 fr.
Géométrie du compas, par L. Mascheroni, in-8. 5 fr.
Problèmes de Géométrie résolus de différentes manières, traduit de l'Italien de Mascheroni, vol. in-8. 3 fr
Isaaci Newtoni Enumeratio tertii ordinis; sequitur illustratio ejusd. tractatûs, auct. J. Stirling, in-8. 7 fr. 5 déc.
Du Calcul des probabilités, par C. F. Bicqulley, in-8. 2 fr. 5 d
Essai sur les ouvrages Physico-Mathématiques de Léonard de Vinci, avec des fragmens tirés de ses manuscrits apportés de l'Italie, par J. B. Venturi, professeur de physique à Modène, 2 fr. 5 déc.
Développement nouveau de la partie élémentaire des Mathématiques, par L. Bertrand. Genève 1778. 2 vol. in-4. 33 fr.
Récréations de mathématiques de Guyot, nouvelle édition, 3 vol. in-8. avec 100 fig. 18 fr.
Arithmétique d'Emilie, par F. Develey, in-8. 5 fr.
Introduction à l'algèbre, par le même. 1 fr. 50 50 c.
Physique, idem. 4 fr.
Leçons élémentaires d'arithmétique, ou d'analyse numérique; par A. R. Mandnit, professeur de mathématiques au collège de France. Nouvelle édition, an 12. 5 fr.
Introduction aux Sections coniques démontrées par synthèse, par le même, in-8. 3 fr.
Traité élémentaire de Statique à l'usage des Ecoles de la Marine, par G. Monge, in-8. 5 fr.
Géométrie descriptive, leçons données aux Ecoles Normales, par le même, in-4. 8 fr.

Mécanique, 2 vol. in-8. 10 fr.

Notes sur les calculs différentiel et intégral, faisant suite à la Mécanique, 5 fr.

Traité de Navigation, ce dernier a été augmenté de deux tables de Logarithmes des nombres, et ceux des sinus, cosinus, tangentes et cotangentes, beaucoup plus exactes et plus étendues que les anciennes, 5 fr.

Notes et additions aux trois premières sections du Traité de Navigation de Bezout, par Ant. Reboul, in-8. 3 fr.

Cours élémentaire et complet de Mathématiques-pures, rédigé par la Caille, augmenté par Marie et éclairci par Théveneau, ancien professeur de Mathématiques des gardes de la marine à Brest; nouvelle édition, revue avec soin, belle impression sur caractères Didot, beau papier, avec 12 planches: gros vol. in-8 de 5>6 p. 6 fr. 50 c.

Cours d'Arithmétique à l'usage des écoles centrales et du commerce, par Théveneau, in 8. 3 fr.

Cours d'analyse algébrique, à l'usage des élèves de l'Ecole polytechnique, rédigé en conformité du programma arrêté par le conseil de perfectionnement de cette Ecole, précédé de Notes sur la partie élémentaire de l'algèbre, par Garnier, 1 vol. in 4. 6 fr.

Elémens d'Algèbre, par Clairaut. sixième édition, avec des Notes et des additions très-étendues; précédés d'un traité d'Arithmétique, par Théveneau, et une instruction sur les nouveaux poids et mesures, 2 vol. in-8. 9 fr.

Essais de Géométrie analytique, par F. Lefrançois, officier d'artillerie seconde édition revue et augmentée, vol. in 8. 2 fr. 50 c.

Leçons élémentaires d'Arithmétique et d'Algèbre, par Tedenat, associé de l'Institut national. in-8. 4 fr.

Leçons élémentaires de Géométrie, par le même, in-8. 5 fr.

Leçons élémentaires d'application de l'Algèbre à la Géométrie, et des calculs différential et intégral, par le même, 2 vol. in-8. 8 fr.

Hydrographie démontrée et appliquée à toutes les parties du pilotage, à l'usage des élèves ou aspirans de la marine militaire ou marchande, par Lassale, in-8. 6 fr.

Traité de Mécanique céleste, par P. S. Laplace, 4 vol. in-4. 60 fr.

Le même, en vélin, grand papier, 200 fr.

Exposition du Système du monde, par le même, in-4. 12 fr.

Cours de Physique céleste, ou leçons données sur l'Exposition du Système du monde, données en l'an X à l'Ecole polytechnique, par J. H. Hassenfratz, instituteur de physique, un gros vol. in-8, avec 29 planches, 7 fr.

Tableaux de Physique, ou Introduction à cette science, à l'usage des Elèves de l'Ecole Polytechnique, par M. Baruel, professeur à cette Ecole, nouvelle édition, entièrement refondue et augm. in-fol. 10 f.

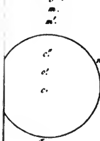
Johannis Wallis s. t. d. Geometriæ professoris Saviliani in celeberrimâ academiâ Oxoniensi de algebrâ tractatus; historicus et practicus, anno 1685 anglicè editus; nunc auctus latinè.

Cum variis appendicibus partim priùs editis anglicè, partim nunc primùm editis. Oxoniæ 1693, 3 vol. in-fol.

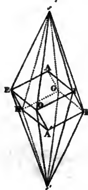
Diophanti Alexandrini arithmeticorum libri sex, et de numeris multangulis liber unus cum commentariis C. G. Bacheti V. C. et observationibus D. P. de Fermat, senatoris tolosani. Tolosæ 1670, in-fol.

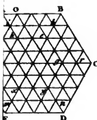
Varia opera mathematica D. Petri de Fermat. Tolosæ 1679, in-folio.

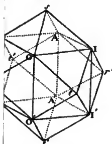
Traité de Géodésie, par Puissant, in-4°. 18 fr.

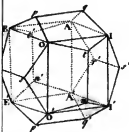

Fig. 4.
m.
m'.
c''
c'
c.
n
x

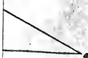



Fig. 7.
A
G
E
D
K
A

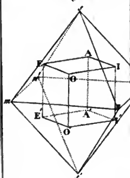

Fig. 11.
O
B
C
F
D


Fig. 13.
A
O
I
r'
A
O
I'


Fig. 16.
A
O
I
E
A
O
I'
p
q'


Fig. 18.
a

Pl. 2.


Fig. 21.
A
I
E
O
m
E
A
O

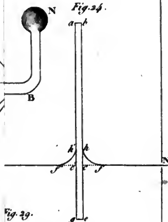

N
B
Fig. 24.
a
b
h
h
N
g
e


Fig. 27.
f
a
g
a
b
l
d
r
c

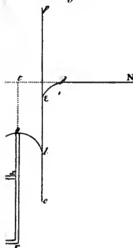

Fig. 29.
N
l
c
r


Fig. 32.
a
r
b


Fig. 34.
d
a




Fig. 6.
A
D
U
V

